ben's Elektro-technische Bibliothek.

Bänden, geheftet à 1 fl. 65 kr. ö. W. = 3 Mark = 4 Francs
legant gebunden à 2 fl. 20 kr. ö. W. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts.
r Band ist für sich vollkommen abgeschlossen u. einzeln käuflich.

Inhalt der Sammlung:

ietelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen
en Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Con-
stav Glaser-De Cew. Vierte Auflage. — II. Band. Die
ftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis, mit
ht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes.
ng. Zweite Auflage. — III. Band. Das elektrische Licht.
banitzky. Zweite Auflage. — IV. Band. Die galvanischen
ulatoren und Thermosäulen. Eine Beschreibung der hydro-
hen Stromquellen, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse
Ph. Hauck. Zweite Auflage. — V. Band. Die Verkehrs-
t besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von
nd. Telephon, Mikrophon und Radiophon, mit beson-
ihre Anwendungen in der Praxis. Von Theodor Schwartze.
VII. Band. Die Elektrolyse, Galvanoplastik und Rein-
g, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis.
ng. Zweite Auflage. — VIII. Bd. Die elektrischen Mess-
nstrumente. Ein Leitfaden der elektrischen Messkunde. Von
Auflage. — IX. Band. Die Grundlehren der Elektricität,
ksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck.
trisches Formelbuch mit einem Anhange, enthaltend die
ologie in deutscher, französischer und englischer Sprache.
Zech. — XI. Band. Die elektrischen Beleuchtungs-
onderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung. Von
nitzky. Zweite Auflage. — XII. Band. Die elektrischen
er Eisenbahnen und das Signalwesen. Von L. Kohl-
nd. Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-
n Dr. A. Tobler. — XIV. Band. Die Haus- und Hôtel-
n O. Canter. — XV. Band. Die Anwendung der Elek-
ärische Zwecke. Von Dr. Fr. Waechter. — XVI. Band. Die
itungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis.
. — XVII. Band. Die elektrische Eisenbahn bezüglich
triebes. Von Josef Krämer. — XVIII. Band. Die Elektro-
praktischen Heilkunde. Von Prof. Dr. Rudolf Lewan-
Band. Die Spannungs-Elektricität, ihre Gesetze,
technischen Anwendungen. Von Prof. K. W. Zenger. —
elt-Literatur der Elektricität und des Magnetismus,
Gustav May. — XXI. Band. Die Motoren der elektri-
n, mit Bezug auf Theorie, Construction und Betrieb. Von
tze. — XXII. Band. Die Generatoren hochgespannter
Prof. Dr. J. G. Wallentin. — XXIII. Band. Das Potential
ng zu der Erklärung der elektrischen Erscheinungen. Von
— XXIV. Band. Die Unterhaltung und Reparatur der
n Leitungen. Von J. Zacharias. — u. s. w. u. s. w.

n auch in Lieferungen à 30 Kr. ö. W. = 60 Pf. = 80 Cts.
= 36 Kop. bezogen werden.
Werke werden nur in der Bandausgabe abgegeben.
pro Band 40 Kr. ö. W. = 75 Pf. = 1 Fr. = 45 Kop.

n's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

XXII

Dr. J. G. Wallentin. Die Generatoren hochgespannter Elektricität.

Elektro-technische Bibliothek. Band XXII.

J. Z. 868 ex 1884

DIE GENERATOREN

hochgespannter Elektricität

mit vorwiegender Berücksichtigung

der Elektrisirmaschinen im engeren Sinne.

Von

Dr. Ignaz G. Wallentin,

k. k. Professor.

Mit 75 Abbildungen.

AUSGESCHIEDEN
aus der Bibliothek des OIAV II

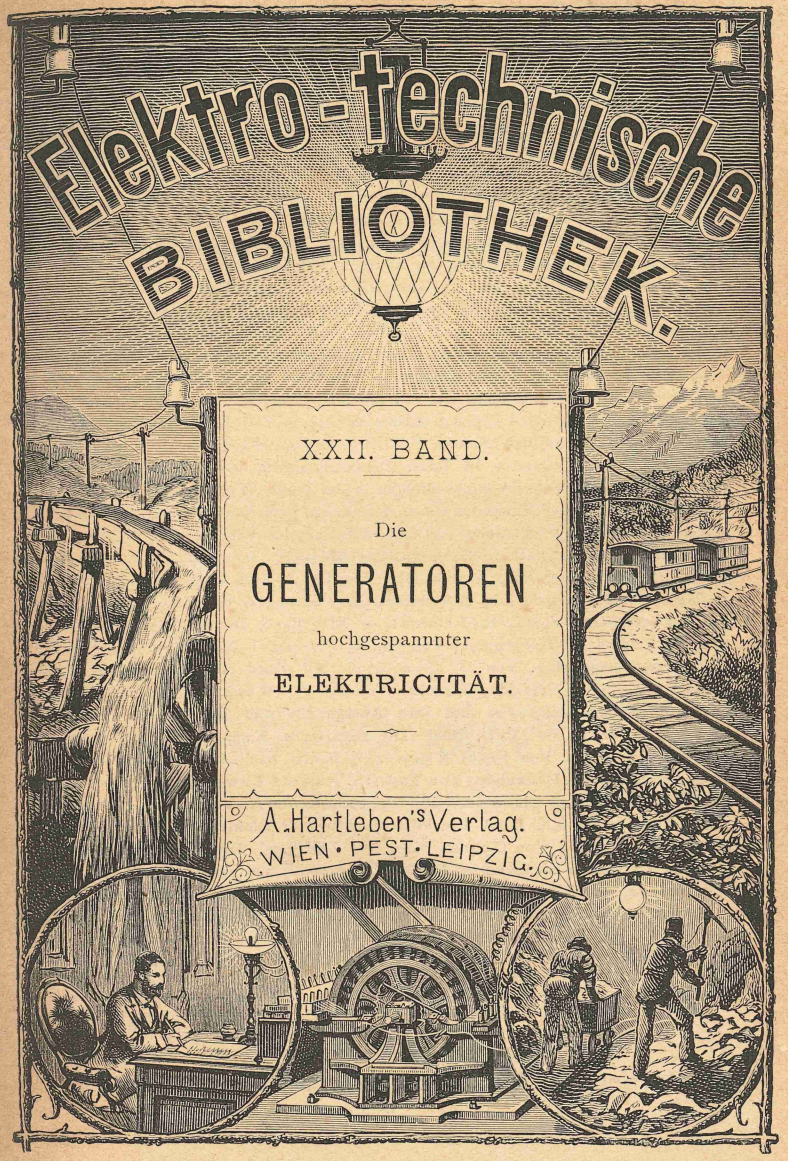
4550

M. 53...
REC. EXPL.
A. H.

WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

Preis 1 fl. 65 kr. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.


Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
XXII. BAND.
Die
GENERATOREN
hochgespannnter
ELEKTRICITÄT.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustrirten Bänden, geheftet à 1 fl. 65 kr. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.
Elegant gebunden à 2 fl. 20 kr. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.

Inhalt der Sammlung.

I. Band. **Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen** und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Von Gustav Glaser-De Cew. Vierte Auflage. — II. Band. **Die elektrische Kraftübertragung** und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes. Von Eduard Japing. Zweite Auflage. — III. Band. **Das elektrische Licht.** Von Dr. A. v. Urbanitzky. Zweite Auflage. — IV. Band. **Die galvanischen Batterien, Accumulatoren und Thermosäulen.** Eine Beschreibung der hydro- und thermo-elektrischen Stromquellen, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von W. Ph. Hauck. Zweite Auflage. — V. Band. **Die Verkehrs-Telegraphie,** mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack. — VI. Band. **Telephon, Mikrophon und Radiophon,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von Theodor Schwartze. Zweite Auflage. — VII. Band. **Die Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis. Von Eduard Japing. Zweite Auflage. — VIII. Band. **Die elektrischen Mess- und Präcisions-Instrumente.** Ein Leitfaden der elektrischen Messkunde. Von A. Wilke. Zweite Auflage. — IX. Band. **Die Grundlehren der Elektricität,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck. — X. Band. **Elektrisches Formelbuch** mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, französischer und englischer Sprache. Von Prof. Dr. P. Zech. — XI. Band. **Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen,** mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung. Von Dr. A. von Urbanitzky. Zweite Auflage. — XII. Band. **Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen.** Von L. Kohlfürst. — XIII. Band. **Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-Telegraphie.** Von Dr. A. Tobler. — XIV. Band. **Die Haus- und Hôtel-Telegraphie.** Von O. Canter. — XV. Band. **Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke.** Von Dr. Fr. Wächter. — XVI. Band. **Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis.** Von J. Zacharias. — XVII. Band. **Die elektrische Eisenbahn** bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Josef Krämer. — XVIII. Band. **Die Elektro-Technik in der praktischen Heilkunde.** Von Prof. Dr. Rudolf Lewandowski. — XIX. Band. **Die Spannungs-Elektricität und ihre technischen Anwendungen.** Von Prof. K. W. Zenger. — XX. Band. **Die Weltliteratur der Elektricität und des Magnetismus, 1860—1883.** Von Gustav May. — XXI. Band. **Die Motoren der elektrischen Maschinen** mit Bezug auf Theorie, Construction und Betrieb. Von Theodor Schwartze. — XXII. Band. **Die Generatoren hochgespannter Elektricität.** Von Prof. Dr J. G. Wallentin. — XXIII. Band. **Das Potential und seine Anwendungen** bei der Erklärung elektrischer Erscheinungen. Von Dr. O. Tumlirz. — u. s. w., u. s. w.

Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen und einzeln käuflich.
Preis geheftet à 1 fl. 65 kr. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.; elegant gebunden à 2 fl. 20 kr. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R 40 Kop. Die Sammlung kann auch in Lieferungen à 30 Kr. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop. bezogen werden.

Einzelne Werke werden nur in der Bandausgabe ausgegeben.
Einbanddecken pro Band 40 Kr. = 75 Pf. = 1 Fr. = 45 Kop.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

DIE GENERATOREN

hochgespannter Elektricität

mit vorwiegender Berücksichtigung

der Elektrisirmaschinen im engeren Sinne.

Von

Dr. Ignaz G. Wallentin,

k. k. Professor.

Mit 75 Abbildungen.

AUSGESCHIEDEN
aus der Bibliothek des
OIAV

BIBLIOTHEK
NO 4557
DES OESTERREICHISCHEN INGENIEUR-UND ARCHITEKTEN-VEREINES

WIEN, PEST, LEIPZIG.
A. HARTLEBEN'S VERLAG.
1884.

REC. EXPL.
A. H.

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von Friedrich Jasper in Wien.

Vorwort.

Im vorliegenden Werke wurde jenen Apparaten, die zur Erzeugung stark gespannter Elektricität verwendet werden, besondere Aufmerksamkeit geschenkt und es wurde deren Construction und Wirkungsweise ausführlich dargestellt. Die Beschreibung der mannigfaltigen Anwendungen stark gespannter Ströme konnte an dieser Stelle übergangen werden, da in einigen vorhergehenden Bänden dieser Sammlung von denselben eingehend gesprochen wurde.

Wenn auch die Elektricität hoher Spannung in der Elektrotechnik viel seltener zur Anwendung gelangt, als jene niederer Spannung, so verdienen dennoch die Vorrichtungen, durch welche man in Stand gesetzt wird, erstere zu erzeugen, in einem elektrotechnischen Gesammtwerke gründliche Würdigung, da sie viele Gesichtspunkte eröffnen, die beim Studium der elektrischen Erscheinungen belangreich sind. Die Geschichte der Entwicklung der Elektrisirmaschinen ist so recht geeignet den Fortschritt in der Verwendung der elektrischen Naturkräfte zu illustriren.

In der vorliegenden Schrift wurden die Reibungs-Elektrisirmaschinen und Influenzmaschinen am ausführlichsten, sowohl was ihre Construction, als auch

ihre Wirkungsweise betrifft, beschrieben. In die Classe der Influenzmaschinen wurden auch mehrere Instrumente aufgenommen, die weniger zur Erzeugung hoher Spannung, als vielmehr zu elektrometrischen Versuchen dienen. Man wird aber die Berücksichtigung dieser Apparate wegen der principiell grossen Aehnlichkeit derselben mit den meisten Influenz-Elektrisirmaschinen gerechtfertigt finden. Von weiteren Generatoren hochgespannter Elektricität wurden die Funkeninductoren und die rheostatische Maschine von Planté ins Auge gefasst.

Die zum Verständnisse der vorliegenden Schrift wichtigen Begriffe der theoretischen Elektricitätslehre wurden in der Einleitung erläutert.

Der Verfasser wünscht durch Veröffentlichung dieser Schrift, in der man die ziemlich ausgedehnte Literatur über die Elektrisirmaschinen gesammelt findet und in welcher auf die modernen Apparate und Anschauungen die gebührende Rücksicht genommen wurde, einem wahren Bedürfnisse abgeholfen zu haben.

Dr. J. G. Wallentin.

Inhalt.

	Seite
Vorwort	V
Inhalt	VII
Illustrations-Verzeichniss	X
Index	XIII
Namenverzeichniss	XV
Einleitung	1
Unterschied zwischen hochgespannter Elektricität und Elektricität niederer Spannung	1
I. Ueber Elektrisirmaschinen.	
a) **Reibungs-Elektrisirmaschinen.**	
Geschichte der Maschine	14
Wirkungsweise der Reibungs-Elektrisirmaschine	21
Bemerkungen über die einzelnen Theile einer Reibungs-Elektrisirmaschine	28
Einige ältere und neuere Cylinder- und Scheibenmaschinen (Maschinen von Nairne, Grüel, Ramsden, van Marum, Winter)	34
Hydro-Elektrisirmaschine von Armstrong	48
b) **Elektrisirmaschinen, welche auf den Principien der elektrischen Influenz und des Transportes der Ladungen beruhen.**	
Elektrophor	58
Doppel-Elektrophor	66
Duplicatoren der Elektricität (von Bennet, Nicholson)	67
Doppel-Condensator	73
Elektricitäts-Generator von Belli	74
Elektrisirmaschine von Varley	76
Metallinductor von Töpler	79
Maschine von Bertsch	86

Seite

Maschine von Carré 88
Holtz'sche Influenzmaschine erster Art 90
(Theorie der Wirkungsweise derselben, diametraler Conductor)
Maschine von Kundt 111
Verschiedene Constructionen der Holtz'schen Maschine 115
Influenzmaschinen mit mehreren Elementen 121
Andere Methoden, eine Influenzmaschine zu erregen . . 123
Ladung einer Influenzmaschine durch den Strom einer anderen 127
Doppel-Influenzmaschinen 127
Erklärung der Wirkungsweise einer Doppel-Influenzmaschine 132
Influenzmaschinen zweiter Art 134
Theorie derselben 136
Anwendung von diametralen Conductoren bei den Elektromaschinen zweiter Art 141
Maschine von Schwedoff 145
Combination mehrerer Holtz'schen Influenzmaschinen . . 149
Ueber einige Versuche mit der Holtz'schen Influenzmaschine 150
Neuere Maschinen von Professor Töpler 153
Vereinigte Holtz'sche und Töpler'sche Influenzmaschine von J. R. Voss 167
Wasser-Influenz-Elektrisirmaschine 169

c) **Ueber einige andere Apparate, welche nach dem Principe der Metallinductoren construirt sind . . . 173**
Der Elektricitätsauffüller (Replenisher) von Thomson . 174
Die elektrische Mühle von Thomson 177
Potentialausgleicher von Thomson 178
Bedingungen für die Zunahme der Ladung in den sogenannten Multiplications-Maschinen 180

d) **Bemerkungen über die Menge der durch die verschiedenen Elektrisirmaschinen erzeugten Elektricität, über die Messung derselben und der dabei aufgewendeten Arbeit und Vergleichung einiger häufig gebrauchten Maschinen 183**

Seite

Bestimmung des absoluten Elektricitätsdebits einer Maschine 189
Vergleichung des Elektricitätsdebits verschiedener Maschinen 196

II. Inductions-Apparate als Generatoren hochgespannter Elektricität 198
Gesetze der galvanischen Induction 199
Magnetoinduction und deren Gesetze 201
Induction eines Stromes auf sich selbst. Extraströme . . 205
Intensität der Inductionsströme 208
Induction in nicht geschlossenen Stromkreisen 209
Funkeninductoren (inducirende Spirale, Inductionsspirale, Unterbrechungs-Apparate) 210
Vereinigung der Inductionsrollen 229
Ladung einer Leydnerflasche mittelst des Funkeninductors 230
Wirkungen der Funkeninductoren 233

III. Fernere Generatoren hochgespannter Elektricität . . 248
Accumulatoren. Rheostatische Maschine 249
Effecte der rheostatischen Maschine 257

Illustrations-Verzeichniss.

Seite

Fig. 1. Figur zur Erläuterung des Potentialbegriffes 3
» 2. Quadranten-Elektrometer von Stöhrer 8
» 3. Elektrisirkugel von Guerike 15
» 4. Schema einer Reibungs-Elektrisirmaschine 22
» 5. Henley'sches Quadranten-Elektrometer 26
» 6. Elektrisirmaschine von Nairne 35
» 7. Elektrisirmaschine von Grüel 37
» 8. Scheibenmaschine von Ramsden 38
» 9. » » Winter 41
» 10—14. Bestandtheile der Scheibenmaschine von Winter 42, 43, 45
» 15. Hydro-Elektrisirmaschine von Armstrong 53
» 16. Apparat z. Aufnahme der Dampfröhren der Armstrong'schen Elektrisirmaschine 54
» 17. Dampfröhre der Hydro-Elektrisirmaschine 54
» 18. Elektrophor 60
» 19*a*, 19*b*, 19*c*. Schematische Darstellung der Wirkungsweise eines Duplicators 68, 69
» 20. Duplicator von Nicholson 71
» 21. Doppel-Condensator (Schema) 73
» 22. Elektricitäts-Generator von Belli 75
» 23. Elektrisirmaschine von Varley 77
» 24. Schema des Metallinductors von Töpler 79, 80
» 25. Metallinductor von Töpler 82
» 26. Maschine von Bertsch (Schema) 87
» 27. Maschine von Carré 89
» 28. Holtz'sche Influenzmaschine (Construction Borchardt . 92

Seite

Fig. 29. Condensations-Vorrichtung bei der Holtz'schen Maschine . 95
» 30. Schematische Figur zur Erklärung der Wirkungsweise einer Holtz'schen Influenzmaschine erster Art 97
» 31. Darstellung der Wirkung des diametralen Conductors . . 106
» 32. Riess'sche Anordnung der neutralen Kämme 110
» 33. Maschine von Kundt 112
» 34. Maschine von Stöhrer 114
» 35. Maschine von Leyser 117
» 36. Scheibe zur Influenzmaschine mit mehreren Elementen . 122
» 37. 38. Schema zur Erklärung der Ladung von Influenzmaschinen mit Leydnerflaschen 125, 126
» 39. Doppelmaschine von Ruhmkorff 129
» 40. Schematische Figur zur Erklärung der Wirkung einer Doppelmaschine 132
» 41. Elektromaschine zweiter Art 135
» 42, 43. Figuren zur Theorie der Elektromaschine zweiter Art 137, 139
» 44. Diametraler Conductor in der Elektromaschine zweiter Art 142
» 45, 46. Schematische Figuren zur Maschine von Schwedoff 147
» 47. Mehrfache Influenzmaschine von Ladd 149
» 48. Schema der Wirkung der neueren Töpler'schen Maschinen 155
» 49. Töpler'sche Maschine 157
» 50. Anders construirte Töpler'sche Maschine 159
» 51. Schema zur Theorie der letzteren 161
» 52. Vielfache Töpler'sche Maschine 164
» 53. Maschine von J. R. Voss 167
» 54. Schema der Wirkungsweise einer Wasser-Influenzmaschine 170
» 55. Wasser-Influenzmaschine 171
» 56. Replenisher von Thomson (Schema) 174
» 57. Elektrische Mühle von Thomson 177
» 58. Potentialausgleicher von Thomson 179
» 59. Extrastromapparat 206
» 60. Darstellung des Principes eines Funkeninductors 211
» 61. Commutator von Ruhmkorff 214
» 62. Funkeninductor 216
» 63. Unterbrechungs-Apparat von Stöhrer 220
» 64. Quecksilber-Interruptor von Foucault 223

Seite

Fig. 65. Quecksilber-Unterbrecher von Stöhrer 227
» 66. Ladung einer Leydnerflasche mittelst des Funkeninductors 231
» 67. Versuch zur Demonstration der geradlinigen Ausbreitung der strahlenden Elektroden-Materie 239
» 68. Anderer zu demselben Zwecke dienender Versuch . . . 240
» 69. Versuch zur Erläuterung des Fortführens negativer Elektrodentheilchen 244
» 70. Secundärbatterien 253
» 71, 72. Commutations-Vorrichtung zur Transformation von Quantitätsströmen in Intensitätsströme 254
» 73. Rheostatische Maschine von Planté 255
» 74, 75. Commutations-Vorrichtung bei der rheostat. Maschine . 259

Index.

Accumulator von Planté 249.
Aethertheorie der Elektricität 243.
Amalgame 30.
Ampère'sche Ströme 204.
Aureole 235.
Ausbreitung, geradlinige, der Elektroden-Materie 240.
Belegungen bei der Holtz'schen Maschine 102.
Bewegungserscheinungen bei der Holtz'schen Maschine 150.
Blitzrädchen 207.
Capacität, elektrische 6.
Cascaden-Batterie 96.
Chlorsilberelemente 12.
Commutator von Ruhmkorff 214.
Condensations-Vorrichtung 95.
Condensator von Fizeau 212.
Conductor, negativer 23.
Conductoren, überzählige 94.
Coulomb 3.
Coulomb's Zerstreuungsgesetz 182.
Cylinder-Influenzmaschine 97.
Dampfelektricität 48.
Dampfröhren, Construction derselben 54.
Daniell'sches Element 9.
Debit einer Elektrisirmaschine 183.
Diametraler Conductor 106.
Dichte, elektrische 2.
Dielektrische Maschine 89.
Doppel-Condensator 73.
Doppel-Elektrophor 66.
Doppel-Influenzmaschinen 127, 132.
Duplicator von Bennet 68.
» » Nicholson 71.
Dynamoprincip 153.
Ei, elektrisches 236.
Elektricitäts-Generator von Belli 74.
Elektrisirmaschine v. Bertsch 86.
» » Bleekrode 119.
» » Borchardt 91.
» » Carré 38.
» » Grüel 36.
» » Kaiser 127.
» » Kundt 111.
» » Ladd 148.
» » Leyser 116.
» » Musaeus 144.
» » Nairne 34.
» » Pouchkoff 104.
» » Ramsden 38.
» » Ruhmkorff 129.
» » Schwedoff 145.
» » Stöhrer 115.
» » Töpler 153.
» » Varley 76.
» » Voss 167.
» » Winter 42.
Elektroden-Materie 239.
Elektromotorische Kraft der Inductionsströme 205.
Elektrophor 58.
Elektrophordeckel 61.
Elektrophorform, Rolle derselb. 62.
Elektrophorkuchen, Bereitung desselben 60.
Energie, elektrische 195.
Extraströme 205.

Faraday'sches Theorem 70.
Franklin'sche Hypothese der Elektricität 244.
Froment'scher Motor 176.
Funkeninductoren 240.
Funkeninductor, Wirkungen 233.
Geissler'sche Röhren 87, 236.
Geschichte der Reibungs-Elektrisirmaschine 14.
Glasgravirung 264.
Glaskugelmaschine 15.
Holtz'sche Maschine 1. Art 90.
» » Theorie 96.
» » 2. Art 134.
» » Theorie 137.
Hydro-Elektrisirmaschine 48.
Induction, galvanische 199.
Inductionsrollen von Spottiswoode 215.
Inductionsspirale 206.
Inductoren 79.
Influenz, elektrische 58.
Influenzmaschine mit mehreren Elementen 121.
Intensität eines Stromes 57.
» der Inductionsströme 205.
Interruptoren 201.
Interruptor von Foucault 222.
» » Gordon 228.
» » Spottiswoode 228.
» » Stöhrer 220.
Kienmayer'sches Amalgam 30.
Kugelblitze, Erklärung derselb. 264.
Ladung einer Leydnerflasche mit Inductoren 230.
Lenz'sches Gesetz 201.
Lichtenberg'sche Figuren 258.
Magnetoinduction 201.
Massflasche von Lane 25.
Metallkamm 18.
Mühle, elektrische 175.
Niveaufläche 4.
Polarisation, dielektrische 64.
Polaritätsumkehrung 106.
Potential 2.
Potentialausgleicher 179.
Potentialgefälle 2, 5.
Quadranten-Elektrometer 7.
» v. Henley 26.
» » Stöhrer 7.
Quantitätsmaschine von Planté 26.
Quecksilber-Interruptor v. Stöhrer 226.
Reibungs-Elektrisirmaschinen 14.
Reibzeug, Erfindung desselben 17.
Replenisher 174.
Residuum 196.
Rheostatische Maschine 256.
Rheostatischer Widder 261.
Schichtung des elektr. Lichtes 236.
Schwefelkugel von Guerike 15.
Secundäre Spirale 200.
Siphon-Recorder 175.
Spannung, elektrische 1.
Strahlende Materie 238.
Tenacität 63.
Töpler'scher Metallinductor 79.
Tourbillon, elektrischer 153.
Transformation der Elektricität 253.
Uebertrager 79.
Unterbrechungshammer 219.
Vergleichung des Debits 196.
Wachstaffetstücke 27.
Wasser-Influenzmaschine 169.
Wechselstrommaschine v. Gramme 248.
Widerstand, innerer, einer Elektrisirmaschine 187.
Winter'scher Ring 44.
Zamboni'sche Säule 9.

Namenverzeichniss.

Ampère 188, 202.
Apps 215.
Armstrong 48.
Beccaria 58.
Becquerel 30.
Belli 74.
Bennet 68.
Bertsch 86.
Bichat 265.
Bleekrode 119.
Böttger 59.
Bohnenberger 79.
Borchardt 91.
Bose 16.
Brame 30.
Branly 7.
Canton 18, 30, 57.
Carré 88.
Cavallo 19, 70.
Coulomb 3.
Crookes 238.
Cuthbertson 20.
Daniell 10.
Delarive 246.
Despretz 236.
Duc de Chaulnes 20.
Edlund 243.
Emsmann 46.
Faraday 50, 206, 241.
Fizeau 212.
Foucault 222.
Franklin 244.
Gassiot 337.
Gaugain 30.
Gauss 188.
Geissler 237.
Gordon 17, 228.
Gray 57.
Grüel 36.
Guerike 14, 58.
Hansen 16.
Hawksbee 15, 57.
Henley 34.
Higgins 30.
Hittorf 238.
Holtz 90.
Jamin 248.
Kaiser 127.
Kienmayer 30.
Kohlrausch 189.
Kundt 111.
Ladd 149.
Lane 25.
Le Dantec 90.
Lenz 203.
Le Roy 42.
Leuner 163.
Lichtenberg 60, 67.
Maneuvrier 248.
Mascart 7, 47, 102, 151, 190, 233.
Matteuci 57.
Maxwell 1, 192.
Munk af Rosenschöld 70.
Musaeus 144.
Nairne 19, 34.
Nicholson 71.
Nollet 18.
Northe 18.
Peclet 22.
Philipps 62.
Pieruzzi 144.
Planta 19.

Planté 248.
Plücker 247.
Poggendorff 103, 123, 128, 153, 218, 222.
Pouchkoff 104.
Puluj 238, 244.
Ramsden 38.
Reitlinger 247.
Riche 87.
Riecke 189.
Riess 111.
Righi 102.
Rosetti 125, 187.
Ruhmkorff 52, 129, 198, 214, 230.
Saint Loupe 97.
Schlösser 97.
Schwedoff 145.
Secchi 243.
Seyffer 55.
Siemens 153.
Sigaud de la Fond 19.
Sinsteden 221.
Spottiswoode 215, 217, 228.
Stöhrer 7, 219, 226.
Sturgeon 203.
Svanberg 74.
Thomson 1, 7, 169, 174, 176, 178, 262.
Töpler 79, 153.
Van Marum 20, 30, 39.
Varley 76.
Volta 48, 58, 67.
Voss 167.
Walckiers 21.
Warren de la Rue 12.
Watson 18.
Wiedemann 102, 158.
Wilke 58.
Wilson 18.
Winkler 17.
Winter 40.

Einleitung.

Unterschied zwischen hochgespannter Elektricität und Elektricität niederer Spannung.

Unter jenen Grössen, welche in der wissenschaftlichen und praktischen Elektricitätslehre gemessen werden müssen, kommt der elektrischen Spannung eine bedeutende Rolle zu. Bekanntlich verbreitet sich die auf einem Conductor im Gleichgewichte befindliche Elektricität derart, dass sie nur an der Oberfläche des Leiters ihren Sitz einnimmt, im Innern des letzteren jedoch keinerlei Elektricität anzutreffen ist. Betrachten wir nun die auf einem kleinen Flächenstückchen des Leiters befindliche Elektricitätsmenge, so wird dieselbe von den Elektricitätsquantitäten, die in den anderen Stellen der Oberfläche des Leiters sich vorfinden, Repulsionen erfahren, und sie hat daher das Bestreben, in der zur Oberfläche in diesem Punkte senkrechten Richtung sich zu entfernen; diese Kraft, also das Streben der Elektricität von der Leiteroberfläche sich loszumachen, bezeichnet man nach dem Vorgange der englischen Elektriker (Maxwell, Thomson u. A.) mit dem Namen Spannung der Elektricität.

Eine verhältnissmässig sehr einfache Rechnung lehrt, dass die eben definirte Spannung der Elektricität in einem Punkte der Oberfläche eines Leiters dem Quadrate der elektrischen Dichte in diesem Punkte, d. h. der Elektricitätsmenge, welche sich auf einer Flächeneinheit, die den betrachteten Punkt umschliesst, vorfindet, proportional ist; wird somit die elektrische Dichte zwei-, drei-, viermal grösser, so wird die elektrische Spannung vier-, neun-, sechzehnmal grösser.

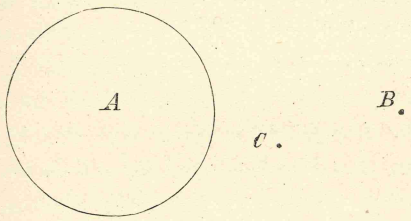
Dass der oben aufgestellte Begriff der elektrischen Spannung nicht allgemein acceptirt wurde, beweist der Umstand, dass man in manchen Schriften die Dichte der an einer bestimmten Stelle des Leiters angehäuften Elektricität als Spannung der letzteren in diesem Punkte bezeichnet findet. Zuweilen nennt man auch das elektrische Potential an einer Stelle des Conductors elektrische Spannung, mitunter auch wird eine Potential-Differenz, ein Potentialgefälle, so genannt. Die mathematische Theorie der Elektricität lehrt, dass die Eingangs definirte Spannung mit der Potential-Differenz in dem betrachteten Punkte des Leiters und einem demselben unendlich benachbarten Punkte, der auf der zur Oberfläche in diesem Punkte gezeichneten Normalen liegt, in dem Zusammenhange steht, dass einem Wachsen dieser Potential-Differenz eine Zunahme der Spannung entspricht.

Wir haben an dieser Stelle den Ausdruck »Potential« zu wiederholten Malen gebraucht. Der Begriff des »elektrischen Potentiales«, der zur Präcisirung der elektrischen Phänomene in hohem Masse beigetragen hat, ist von grosser Wichtigkeit und er wird uns im weiteren Verlaufe dieser Schrift oft von bedeutendem

Nutzen sein. Dieser Umstand mag die nachfolgende kleine Abschweifung von unserem eigentlichen Thema rechtfertigen.

Nehmen wir an, der Körper A (Fig. 1) sei etwa positiv elektrisch und er sei von allen anderen Körpern unendlich weit entfernt. Bringen wir gegen den Körper A etwa in die Lage B eine positive elektrische Masseneinheit, d. h. eine solche, welche auf eine gleich grosse in der Entfernung von 1 cm. befindliche eine Kraft ausübt, die gleich der

Fig. 1.



Einheit ist, die also im Stande wäre, der Masse eines Grammes*) in einer Secunde die Geschwindigkeit von 1 cm. zu ertheilen, so wird der elektrische Körper A den Körper B immer weiter und weiter abstossen, bis er sich in der Unendlichkeit verlieren würde. Um das Elektricitätstheilchen B an den Körper A zu führen, müssen wir eine Arbeit entgegen den abstossenden Kräften, die zwischen den beiden elektrischen Körpern herrschen, leisten, und umgekehrt wird das Theilchen B, wenn es

*) Nach neueren Festsetzungen wählt man als Elektricitätseinheit jetzt ungefähr $\frac{1}{300000.10^6}$ der oben angegebenen Einheit, welche man dann nach dem berühmten französischen Physiker 1 Coulomb nennt.

sich allein überlassen wird, bei seiner Bewegung von A weg eine Arbeit leisten. Wenn man das elektrische Theilchen von einer Position B in eine zweite dem Körper A nähere Lage C bringt, so ist die bei dieser Bewegung verbrauchte Arbeitsgrösse nur von der Anfangs- und Endposition des Theilchens abhängig, gänzlich unabhängig aber von dem Wege, auf welchem die Ueberführung von B nach C stattfand. Die Kräfte nämlich, welche zwei elektrische Körper auf einander ausüben, sind ausser von den auf diesen Körpern vorhandenen Elektricitätsmengen nur von der Distanz der Körper abhängig, und bei derartigen Kräften herrscht das eben angegebene Gesetz — wie eine genauere mathematische Erörterung lehrt.

Man nennt jene Arbeitsmenge, welche man leisten muss, um die Elektricitätseinheit von der Unendlichkeit her entgegen den Kräften, welche auf dieses Theilchen von A ausgeübt werden, in einen bestimmten Punkt, der in dem den Körper A umgebenden Raume sich befindet, zu bringen, das Potential des elektrischen Körpers in diesem Punkte. Es ist begreiflich, dass die erwähnte Arbeit um so grösser sein wird, je näher an den Körper A das Elektricitäts-Einheitstheilchen gebracht wird; je näher somit ein Punkt dem elektrisirten Körper A liegt, desto grösser ist das Potential des letzteren in diesem Punkte und umgekehrt.

Denken wir uns alle jene Punkte, welche einen bestimmten Potentialwerth besitzen, durch eine Fläche verbunden, die den elektrisirten Körper umgibt, so nennt man eine solche Fläche eine aequipotentiale oder Niveaufläche. Sie ist dadurch ausgezeichnet, dass eine Verrückung eines Elektricitätstheilchens, die in dieser

Fläche stattfindet, ohne Arbeitsleistung ausgeführt werden kann. Man kann sich um den elektrisirten Körper A unendlich viele Niveauflächen denken, die, ohne sich irgendwo zu durchschneiden, den Körper concentrisch umgeben. Die Niveauflächen, welche sich nahe dem Körper A befinden, entsprechen in dem ins Auge gefassten Falle einem höheren Potentialwerthe, als jene, welche von A weiter entfernt sind. Die Elektricitätseinheit, welche wir oben betrachteten, wird von einer Niveaufläche hohen Potentiales zu einer nächst liegenden übergehen, auf welcher das Potential einen kleineren Werth hat, und zwar erfolgt der Uebergang auf dem kürzesten Wege, d. h. in einer im Allgemeinen krummen Bahn, welche auf beiden Niveauflächen senkrecht steht. Das von A abgestossene Elektricitätstheilchen beschreibt eine Bahn, der man den Namen Kraftlinie gegeben hat.

Es ist jetzt leicht, den Begriff des Potentialgefälles, welches — wie oben erwähnt — sehr oft Spannung bezeichnen wird, aufzustellen. Ist z. B. das Potential auf einer Niveaufläche V, an einer zweiten der ersten unendlich benachbarten vom Körper A entfernteren V', ist ferner der senkrechte Abstand der beiden Flächen E, so ist das Potentialgefälle:

$$F = \frac{V - V'}{E}.$$

Gerade wie man von einem Wassergefälle in der Hydraulik spricht, bedient man sich des Ausdruckes »Potentialgefälle« in der Elektricitätslehre.

Ferner ist jederzeit festzuhalten, dass das Potential einen positiven Werth hat, wenn die von dem elektrischen Systeme — das oben Gesagte lässt sich nämlich

unschwer auf einen Complex elektrischer Körper übertragen — auf die in dem gedachten Punkte befindliche positive Elektricitätseinheit ausgeübte Wirkung während der Bewegung der letzteren eine abstossende ist. Ist das Entgegengesetzte der Fall, so hat das Potential einen negativen Werth; es ist nämlich dann die Bewegung, welche man sich bei der Bestimmung des Potentialwerthes vorzustellen hat, der Kraftwirkung entgegengesetzt. Leicht einzusehen ist es, dass das Potential eines elektrisirten Systemes in der Unendlichkeit den Werth Null besitzt. Aus dem Erörterten ist ebenfalls ohne Mühe zu erkennen, dass ein positives elektrisches Theilchen, sich selbst überlassen, von Stellen höheren Potentiales an Stellen niedrigeren Potentiales wandert, während ein negatives Theilchen den entgegengesetzten Weg einschlagen würde.

Man kann auch von dem Potential innerhalb eines elektrisirten Körpers sprechen. In einem im elektrischen Gleichgewichte befindlichen Leiter muss das Potential durchaus denselben Werth besitzen, denn wäre dies nicht der Fall, so würde die Elektricität in Folge der Potentialgefälle nicht in Ruhe sein. Alle Elektricität befindet sich in einem Leiter an der Oberfläche desselben, diese wird eine Niveaufläche sein, auf der das Potential einen bestimmten Werth hat. Der letztere — nennen wir ihn V — hängt mit der dem Körper mitgetheilten Elektricitätsmenge M durch folgende Beziehung zusammen:

$$M = V . C.$$

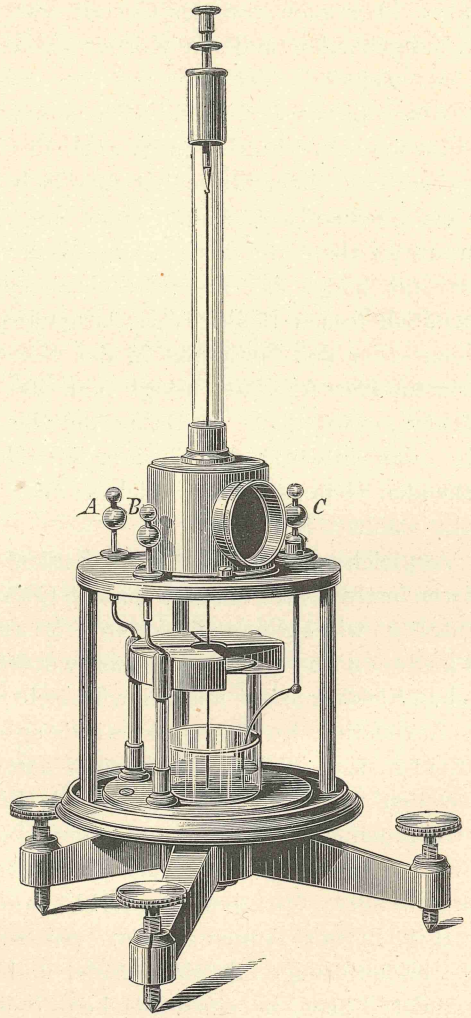
Die in dieser Gleichung vorkommende Grösse C stellt die Elektricitätsmenge dar, welche der Körper besitzen muss, um das Potential Eins zu erlangen, und wird die elektrische Capacität des betreffenden Körpers

genannt. Diese Grösse ist wesentlich von der Gestalt des Körpers, aber auch von der Gestalt und Lage der denselben umgebenden anderen Körper abhängig. Wir werden im weiteren Verlaufe unserer Auseinandersetzungen öfters diesen Begriff zu Hilfe nehmen müssen.

Wir können den absoluten Werth des Potentials nicht angeben. Glücklicherweise hat man es bei Betrachtung der elektrischen Erscheinungen nur mit Potential-Differenzen zu thun. In der mathematischen Theorie der Elektricität bildet das Potential eines Systemes in einem unendlich fernen Punkte den Ausgangspunkt der Vergleichung oder den Nullpunkt in der Potentialscala; bei experimentellen Arbeiten bringt man das Potential eines Körpers gewöhnlich in Bezug auf das Potential der Erde oder eines mit derselben in leitender Verbindung stehenden Gegenstandes, welches man dann als Nullpunkt wählt.

Zur Vergleichung von Potentialen bedient man sich unter anderen Instrumenten der sogenannten Quadranten-Elektrometer, wie sie von Thomson, Branly, Mascart und anderen Physikern construirt wurden. Mittelst eines solchen Elektrometers können wir leicht die Frage studiren, inwieferne hoch- und niedergespannte Elektricitäten sich in ihren Wirkungen unterscheiden. Deshalb wollen wir in aller Kürze auf die Einrichtung und den Gebrauch eines derartigen Messinstrumentes eingehen; wir wollen hierbei das oft zu Vorlesungsversuchen angewendete Quadranten-Elektrometer von Stöhrer (Fig. 2) vor Augen haben. An zwei Fäden hängt eine biscuitförmige Aluminiumnadel und kann sich in horizontaler Ebene in einem flachen, cylindrischen

Fig. 2.



Messingkasten, der in der Mitte der oberen und unteren Fläche kreisförmige Oeffnungen hat und in vier Quadranten getheilt ist, von denen je zwei diametral gegenüberstehen und leitend verbunden sind, bewegen. Von zwei nebeneinanderstehenden Quadranten gehen Metallstäbchen aus, die den Deckel des Apparates durchsetzen und zur Zuleitung oder Ableitung von Elektricität dienen. Die Fäden, an welche die Nadel befestigt ist, können durch einen am oberen Theile des Apparates ersichtlichen Knopf gedreht werden und hiermit die Nadel selbst. Durch einen Platinstab, welcher die Nadel in ihrer Mitte durchsetzt und unten in ein Gefäss mit concentrirter Schwefelsäure taucht, kann der Nadel Elektricität und zwar mittelst eines zweiten Stäbchens, welches in *C* endigt und ebenfalls in die Schwefelsäure taucht, mitgetheilt werden. Gleichzeitig werden die Schwingungen der Nadel durch die in der Flüssigkeit vor sich gehende Bewegung eines Theiles des Platindrahtes, an dem oft Querdrähte angebracht sind, gedämpft. Die Nadel trägt auf ihrer Axe einen Spiegel, welcher z. B. das Bild eines hellen Spaltes, einer feinen Lichtlinie, auf einer horizontal befestigten Scala entwirft; das Wandern dieser Lichtlinie auf der Scala deutet auf eine Bewegung der Nadel hin, und es kann die Grösse der Ablenkung der letzteren mit grosser Genauigkeit bestimmt werden.

Will man mittelst dieses Apparates Potentiale vergleichen, so bringt man die Nadel auf ein Potential, das man durch geeignete Mittel constant zu erhalten sucht. So kann man die Nadel etwa in der Weise laden, dass man mit ihr den einen Pol einer Zamboni'schen Säule

in leitende Verbindung bringt, während der andere Pol derselben zur Erde abgeleitet ist. Ist die Nadel, bevor sie noch geladen war, in der Trennungslinie der beiden (in der Figur links vorne und rückwärts gezeichneten) Quadranten in Ruhe gewesen, so wird das nach der Ladung der Nadel noch immer der Fall sein, da sie zu den vollkommen unelektrischen Quadranten symmetrisch liegt. Verbindet man aber das eine Quadrantenpaar leitend mit der Erde (indem man z. B. einen Draht von der Elektrode *A* zu den Gasleitungsröhren führt) und theilt dem anderen Quadrantenpaare die auf ihr Potential zu untersuchende Elektricität durch Berühren der Elektrode *B* mit, so wird die Nadel abgelenkt werden, mit ihr der Spiegel, und die Lichtlinie wird vom Nullpunkte der Scala gegen einen anderen Punkt derselben vorrücken. Die Ablenkung der Nadel ist, wenn sie nicht sehr bedeutend ist, der Potential-Differenz der beiden Quadrantenpaare oder — da der eine von ihnen auf das Potential der Erde, welches wir als Nullpunkt in der Potentialscala wählen, gebracht ist — dem Potential der untersuchten Elektricitätsquelle proportional.

Wenn wir z. B. das Potential des eines Poles eines Daniell'schen Elementes finden wollen, so bringen wir diesen Pol in leitende Verbindung mit dem einen Quadrantenpaare, während das andere zur Erde abgeleitet ist; die Lichtlinie wird aus ihrer Ruhelage um einige Scalentheile ausweichen. Man wird sehr leicht den Unterschied constatiren können, welcher in dem Potentialwerthe des Poles auftritt, wenn der andere Pol des Elementes isolirt oder zur Erde abgeleitet ist;

im letzteren Falle wird nämlich die Lichtlinie um eine doppelt so grosse Anzahl Theilstriche aus ihrer Ruhelage gerathen, als im ersten Falle, es ist also das elektrische Potential dieses Poles doppelt so gross, als im ersten Falle, was in Uebereinstimmung mit dem bekannten Gesetze der Erhaltung der Potential-Differenz sich befindet.

Reiben wir nun eine Glasröhre nur wenig mit einem Tuch und bringen die erstere an die Elektrode des ersten Quadrantenpaares, so bemerken wir, dass die Lichtlinie mit grosser Geschwindigkeit aus ihrer Gleichgewichtslage wandert und zwar weit über die Scala, so dass sich die Ablenkung der Nadel nicht mehr schätzen lässt. Das deutet uns an, dass die geriebene Glasröhre ein ungleich höheres elektrisches Potential besitzt, als der untersuchte Pol des Daniell'schen Elementes. Die Potential-Differenz der geriebenen Glasröhre und eines beliebigen Körpers ist um vieles grösser, als die Potential-Differenz des Elementenpoles und desselben Körpers. In Folge dieser Verhältnisse besitzt die Elektricität auf der Glasröhre eine grössere Spannung, als jene des Poles des Daniell'schen Elementes ist, denn wir haben früher erörtert, dass die Spannung wächst, wenn die Potential-Differenz zunimmt. Wir nennen die Elektricität des geriebenen Glasstabes hochgespannte Elektricität, die Elektricität des Poles eines galvanischen Elementes aber Elektricität niederer Spannung. In der That hat erstere Elektricität das Bestreben, vom elektrisirten Körper sich zu entfernen, in hohem Grade, was bei der zweitgenannten Elektricität nicht der Fall ist. Wenn wir z. B. im Dunkeln der Glasröhre den

Fingerknöchel nähern, so sehen wir von ersterer einen Funken überspringen; bringen wir hingegen den Elementenpol dem Finger nahe, so werden wir die eben besprochene Erscheinung vermissen.

Wir sind im Stande, durch sogenannte Hintereinanderschaltung von Elementen immer grösser werdende Potential-Differenzen, also auch immer grössere elektrische Spannungen zu erzielen. So ist es bekannt, dass Warren de la Rue 11.000 Chlorsilber-Elemente zu seinen Versuchen in Anwendung brachte, durch welche er eine so grosse elektrische Spannung erzielte, dass ein continuirlicher Funkenstrom zwischen den Polenden stattfand. Doch wollen wir im Nachfolgenden von derartigen umständlichen und kostspieligen Versuchen, eine bedeutende elektrische Spannung zu erhalten, abstrahiren und nur jenen Apparaten unsere Aufmerksamkeit zuwenden, welche in erster Linie geeignet sind, bedeutende Quantitäten hochgespannter Elektricität zu erzeugen. Es gehören in diese Gruppe elektrischer Apparate zuvörderst die Reibungs- und Influenz-Elektrisirmaschinen, die grossen unter dem Namen Funkeninductoren bekannten Inductions-Apparate und die vor nicht langer Zeit von Gaston Planté construirte rheostatische Maschine, die als ein zur Umwandlung dynamischer Elektricität in hochgespannte Elektricität dienlicher Apparat ein besonderes theoretisches Interesse in Anspruch nimmt.

Es ist im Auge zu behalten, dass die Generatoren hochgespannter Elektricität, von denen wir nunmehr einige namhaft gemacht haben, an zwei Stellen entgegengesetzte Elektricitäten erzeugen, deren Potential-Differenz sehr beträchtlich ist; werden diese Stellen mit einander leitend verbunden, so tritt eine Ausgleichung der Potentiale ein; es entsteht ein elektrischer Strom, in dem aber verhältnissmässig geringe Quantitäten von Elektricität mitgeführt werden. Anders jedoch z. B. in einem galvanischen Elemente; an den beiden Polen desselben sammeln sich Elektricitäten von entgegengesetzten Potentialwerthen an; die Potential-Differenz ist aber gering, hingegen werden in dem Strome, der zu Stande kommt, wenn man die beiden Pole leitend mit einander verbindet, viel grössere Mengen von Elektricität in Bewegung gesetzt, als in dem früheren Falle.

Wir wenden uns nun zur Beschreibung der am häufigsten in Verwendung stehenden Generatoren starkgespannter Elektricität, der Elektrisirmaschinen im engeren Sinne. Die Elektrisirmaschine hat im Laufe der Zeiten in ihrer Construction so mannigfache Wandlungen erfahren, Veränderungen, welche oft principieller Art waren, dass eine Darstellung der verschiedenen Constructionen dieser Maschine mit der Geschichte der letzteren innig verknüpft ist. Dass der Fortschritt in der Technik der Elektrisirmaschine in den letzten Jahren nicht so bedeutend, wie z. B. jener in der Technik der dynamoelektrischen Maschine ist, darf uns keineswegs befremden; die Lehre von der hochgespannten Elektricität ist ja um Vieles früher schon gepflegt worden, als jene von der dynamischen Elektricität; denn die ersten elektrischen Beobachtungen, welche von Thales um das Jahr 640 v. Chr. angestellt wurden, bezogen sich auf hochgespannte Elektricität. Kein

Wunder, dass wir diesen Zweig der Elektricitätslehre bis zum heutigen Tage besser überblickt und studirt haben, als das Gebiet der übrigen elektrischen Erscheinungen. Immerhin werden uns die mächtig wirkenden Influenzmaschinen, wie sie nach den Angaben Professor Töpler's construirt wurden, den Beweis liefern, welch ungeheure Kluft zwischen der Schwefelkugel Otto v. Guerike's und jener vollkommenen Maschine liegt.

I.

Ueber Elektrisirmaschinen.

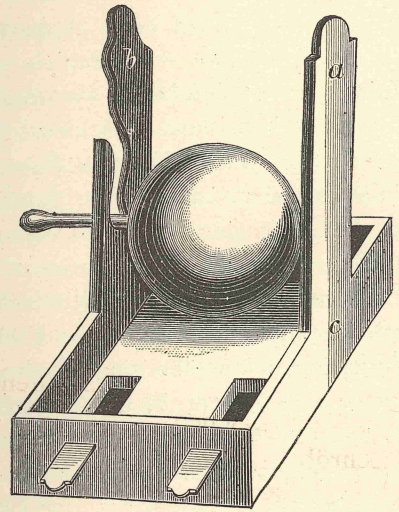
a) Reibungs-Elektrisirmaschinen.

Geschichte der Maschine.

Während vor Otto v. Guerike gewöhnlich in der Weise Elektricität erzeugt wurde, dass man den Körper, durch dessen Reibung man Elektricität erhalten wollte, in der einen Hand hielt, während man ihn mit der anderen Hand rieb, hat der erwähnte verdienstvolle Forscher einen einfachen Apparat construirt, mit dem es möglich war, den zu elektrisirenden Körper rasch zu drehen und so viel grössere Elektricitäts-Quantitäten, als man früher je erzeugt hatte, hervorzurufen. Als zu elektrisirenden Körper benützte Guerike eine Schwefelkugel, durch welche er eine Axe steckte, mittelst der er sie in Rotation versetzte. Die trockene Hand, welche er an die gedrehte Schwefelkugel anlegte, bildete das zur Erde abgeleitete Reibzeug. Der primitive Apparat,

der trotz des Fehlens einiger wichtiger Organe, die unsere heutigen Reibungs-Elektrisirmaschinen aufweisen, immerhin als die erste Elektrisirmaschine angesehen werden kann und in Fig. 3 abgebildet ist, hat Guerike zu manchen folgenreichen Entdeckungen geleitet. — In ähnlicher Weise hat um viele Jahre später Hawksbee

Fig. 3.



eine hohle Glaskugel benützt, die er auf eine Axe steckte und mittelst einer Kurbel in Drehung versetzte, um ziemlich grosse Elektricitätsmengen durch Reibung der gedrehten Kugel an der Handfläche zu erzeugen. Er konnte dieser Glaskugelmaschine durch Nähern eines Fingers einen Funken von 1 Zoll Schlagweite entlocken, welcher ihm Zeugniss von der grossen elektrischen

Spannung des geriebenen Glases gab. Die Versuchsmethode von Hawksbee fand jedoch wenig Nachahmer, meist wurden noch lange Zeit hindurch Glasröhren verwendet, die mit der Hand gerieben elektrisch wurden.

Der Leipziger Professor der Mathematik und Physik, August Hansen, nahm, durch einen seiner Schüler angeregt, die Versuchsweise von Hawksbee wieder auf und construirte im Jahre 1743 einen Apparat, der dem des letztgenannten Physikers sehr ähnlich war und bei dem noch immer die menschliche Hand als Reibzeug Verwendung fand. Auf diese Maschine, die Hansen ausführlich beschrieb, wurde Mathias Bose, Professor der Physik in Wittenberg, aufmerksam gemacht, und er dachte daran, die Glaskugelmaschine zu vervollkommnen. Dies gelang ihm auch durch Hinzufügen eines Conductors, der aus einer an beiden Seiten offenen Röhre aus Eisenblech bestand, auf welche die Elektricität der geriebenen Kugel in Funken überging. Anfänglich wurde dieser Conductor von einem Menschen getragen, der auf einem Isolirschemel stand; erst später hing man die Blechröhre an Seidenschnüren auf. Immer noch wurde die menschliche Hand als Reibzeug der Glaskugel benützt. Für die Geschichte der Reibungs-Elektrisirmaschine wichtig ist auch die von Bose beobachtete, aber nicht verstandene Erscheinung, dass es von grossem Vortheile sei, den röhrenförmigen Conductor an dem der Kugel gegenüberstehenden Ende in ein Bündel von Metalldrähten ausgehen zu lassen. Wir werden an späterer Stelle sehen, dass man auch bei den neueren Reibungsmaschinen der geriebenen Glasscheibe gegenüber an dem Conductor

Spitzen befestigt, die einem besonderen, dann zu erörternden Zwecke dienen.

Nun ging es rasch mit der Vervollkommnung der Elektrisirmaschine vorwärts. Der Erfurter Ordenspriester Andreas Gordon benutzte statt der Glaskugel einen Glascylinder von 8 Zoll Länge und 4 Zoll Durchmesser, den er auf eigenthümliche Weise in Bewegung setzte. Wir werden die Cylindermaschinen noch öfters antreffen, sie wurden nebst den Kugelmaschinen bis über das Jahr 1756 gebraucht.

Wichtiger als diese Aenderung der Form des geriebenen Isolators ist die Erfindung des Reibzeuges, welche unter Anleitung des Leipziger Professors Johann Winkler durch den Drechsler Giessing erfolgte. Ein Wollkissen wurde entweder mittelst einer Schraube oder einer Metallfeder an die zu elektrisirende Glaskugel oder an den Cylinder gepresst. So war die Elektrisirmaschine im Jahre 1744, zu welcher Zeit Winkler eine Beschreibung der neuen Maschine gab, mit ihren Hauptorganen, dem Reibzeuge und dem Conductor ausgerüstet, und wurde zu vielen Versuchen, besonders zur elektrischen Zündung, gebraucht. Allerdings blieb an der damaligen Form der Elektrisirmaschine Vieles lange Zeit noch verbesserungsbedürftig.

Mit der Verbesserung und Vervollkommnung der Elektrisirmaschine, die, eine deutsche Erfindung, bald über die Grenzen des Heimatlandes nach Frankreich und England wanderte, beschäftigten sich viele hervorragende Gelehrte der beiden letzterwähnten Länder. Allerdings treffen wir da auch manchen Rückschritt. Der um elektrische Forschungen hoch verdiente Abt

Nollet benutzte als Reibzeug wieder die Hände. Die erzeugte Elektricität wurde mittelst metallischer Conductoren, die an Seidenschnüren befestigt waren, gesammelt. — Von Interesse ist die so ziemlich um dieselbe Zeit construirte Elektrisirmaschine von Watson, bei welcher vier übereinander stehende Glaskugeln gleichzeitig gedreht und von vier Kissen gerieben wurden; ein isolirter Conductor endigte in Stoffstreifen, welche die Kugeln berührten und zur Einsammlung der entstandenen Elektricität dienten.

Eine schon recht vollkommene Elektrisirmaschine in Form eines Glascylinders construirte Wilson ums Jahr 1752. Der Glascylinder wurde von einem unter demselben anliegenden langen Kissen gerieben. Die erzeugte Elektricität ging auf einen an seinen beiden Enden kugelförmig gewölbten Metallcylinder, der von Seidenfäden getragen war, über. Hier finden wir zum erstenmale einen vollkommenen Metallkamm; es war nämlich am Conductor ein verticaler Metallcylinder befestigt, der dem Glascylinder gegenüber in einen Kamm endigte.

Wenn wir noch der 1762 gemachten Entdeckung John Canton's, dass eine höhere Wirkung erzielt wird, wenn man das Reibzeug mit einem Zinn-Quecksilber-Amalgam, dem Kreide beigemischt war, bestreicht, und der Ueberkleidung des geriebenen Glascylinders mit Wachstaffet zum Zwecke der Vermeidung des Elektricitätsverlustes, welche von Noothe im Jahre 1773 vorgenommen wurde, Erwähnung thun, so haben wir alle wichtigen Momente in der Entwicklungsgeschichte der Elektrisirmaschine berücksichtigt, so weit wir es noch mit Cylindermaschinen zu thun hatten.

Auf Grund der im Laufe der Zeit gemachten Entdeckungen wurden nun Elektrisirmaschinen construirt, die schon Vortreffliches leisteten; so seien in dieser Beziehung die Maschine von Tiberio Cavallo (1777) und jene von Nairne erwähnt, deren Cylinder die Länge von 19 Zoll und den Durchmesser von 12 Zoll hatte und bei welcher der bekannten elektrischen Grunderscheinung, dass der reibende und geriebene Körper gleich grosse, aber entgegengesetzte Elektricitäten erhalten, insoferne Rechnung getragen wurde, dass auch das Reibkissen von einem isolirten Conductor getragen wurde und man so im Stande war, auch die Elektricität dieses Körpers zu sammeln. Die Maschine von Nairne, welche wir später im Detail beschreiben werden, lieferte Funken bis zu 35 cm. Länge.

Mit der Construction der Scheibenmaschine, bei welcher statt einer Glaskugel oder eines Glascylinders eine kreisförmige Glasscheibe angewendet wurde und welche die heute am meisten vertretene Form der Reibungsmaschine ist, beginnt eine neue Epoche in der Geschichte der Elektrisirmaschine. Wer die Glasscheibe zuerst einführte, ist nicht mit vollständiger Sicherheit zu eruiren. Sowohl der Pariser Arzt Sigaud de la Fond, als auch der englische Mechaniker Ramsden, ferner das berühmte Mitglied der Royal Society, Ingenhouss, der eine Scheibe von 15 Zoll in Anwendung brachte, stritten sich um die Priorität der Einführung der Scheibenmaschine. Nach mehreren Untersuchungen*) scheint aber Planta der erste Erfinder derselben (1755) zu sein.

*) Man sehe: Poggendorff, Geschichte der Physik, S. 849.

Die Scheibenmaschine wurde von diesem Zeitpunkte am meisten construirt, die Cylindermaschine trat immer mehr in den Hintergrund und die ursprüngliche Form der Elektrisirmaschine als Kugelmaschine ward ganz aufgegeben. In dem Bestreben, recht grosse und starkwirkende Scheibenmaschinen zu construiren, wetteiferten Forscher und Freunde der Wissenschaften der nächstfolgenden Zeit und wir wissen von derartigen Versuchen. So soll der bekannte Duc de Chaulnes eine Maschine besessen haben, die bei 5 Fuss Scheibendurchmesser Funken von 22 Zoll Länge lieferte. Eine noch grössere Maschine, welche wegen ihrer Dimensionen und starken Wirkungen geradezu eine Berühmtheit erlangte, ist die von dem englischen Mechaniker Cuthbertson für das Teyler'sche Museum in Harlem construirte Elektrisirmaschine, mit welcher der Vorsteher dieses Museums, van Marum, bemerkenswerthe Versuche anstellte. Diese Elektrisirmaschine hatte zwei Glasscheiben von ungefähr 80 Centimeter im Durchmesser, von denen eine jede von zwei Paar Kissen, die sich oben und unten befanden, gerieben wurde. Die Kissen hatten eine Länge von $15^1/_2$ englischen Zoll und waren unter einander mit einem eigenen Conductor verbunden, der somit die auf ihnen angesammelte Elektricität empfing. Zwischen den beiden Scheiben, die eine Distanz von $7^1/_2$ Zoll hatten, befand sich ein zur Erde abgeleiteter Doppelkamm. Die Maschine, welche erregt schon in grosser Entfernung auf ein Elektroskop wirkte, gab Funken von 24 Zoll.

Erwähnt sei noch in dieser geschichtlichen Skizze der Entwicklung der Elektrisirmaschine, dass man im vorigen Jahrhunderte auch Versuche mit Elektrisirmaschinen machte, in denen das Glas durch andere Substanzen ersetzt war. So hat Walckiers in Paris um das Jahr 1784 eine Maschine benützt, in welcher ein Streifen Taffet ohne Ende, der mit einer öligen Substanz bestrichen und auf zwei Holzcylindern aufgerollt war, von denen der eine in drehende Bewegung versetzt wurde, sich befand. Der Taffetstreifen wurde von Katzenfell gerieben und die auf ersterem gesammelte Elektricität übertrug man auf einen mit Spitzen versehenen Metallcylinder, der sich zwischen den beiden Walzen inmitten des vom Taffetstreifen eingeschlossenen Raumes befand. Die erwähnte Maschine soll vorzügliche Wirkungen gehabt haben.

Aus dieser kurz gehaltenen Darstellung der Geschichte der Reibungs-Elektrisirmaschine ergibt sich, dass die Entwicklung derselben bis zu ihrer heutigen Construction sich nur langsam vollzog, dass das Verdienst der Vervollkommnung dieses bedeutendsten Apparates zur Erzeugung hochgespannter Elektricität einer grossen Zahl von namhaften Forschern zugeschrieben werden muss.

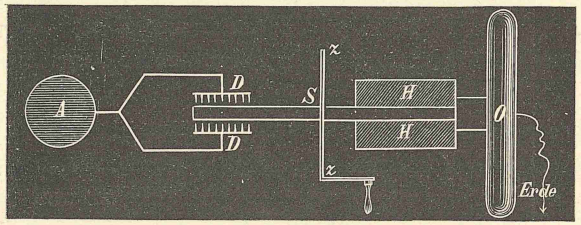
Bevor wir zur Beschreibung einiger wichtigeren Cylinder- und Scheiben-Elektrisirmaschinen übergehen, wollen wir im Nachfolgenden, von einem allgemeinen Schema ausgehend, die Wirkungsweise einer solchen Maschine des Näheren betrachten. Das an dieser Stelle zu Erörternde hat für alle später beschriebenen Reibungs-Elektrisirmaschinen in gleicher Weise Giltigkeit.

Wirkungsweise der Reibungs-Elektrisirmaschine.

Im Eingange zu den folgenden Betrachtungen wollen wir bemerken, dass bei der wechselseitigen Reibung zweier

verschiedener Körper zwischen denselben sich eine Potential-Differenz herstellt, die — wie die schönen Untersuchungen von Peclet ergaben — von der Grösse der in Berührung stehenden Flächen, von der relativen Geschwindigkeit und von dem gegenseitigen Drucke unabhängig ist, welch letzterer immer so gross sein muss, dass man von dem vollständigen Contacte der Flächen überzeugt sein kann. Dieses Gesetz, welches als Fundamentalgesetz gilt, hat die grösste Aehnlichkeit mit jenem Gesetze, welches Volta bezüglich der Berührung un-

Fig. 4.



gleichartiger metallischer Körper ausgesprochen hat. Es ist auch kaum daran zu zweifeln, dass die sogenannte Reibungselektricität Contactelektricität ist, und dass die Reibung nur den Zweck hat die Anzahl der Berührungsstellen der beiden Isolatoren zu vermehren.

In dem durch Fig. 4 angedeuteten Schema einer Elektrisirmaschine erblicken wir die wesentlichsten Bestandtheile derselben: 1. den geriebenen Isolator *S*; 2. das Reibzeug *HH*, welches mit einem Conductor *O* leitend verbunden ist; 3. den zur Sammlung der Elektricität dienlichen, isolirt aufgestellten und mit Saugspitzen *D* versehenen Conductor *A*. Wird nun der Isolator *S* (z. B.

eine Glasscheibe) gerieben, so entsteht zwischen ihm und dem Kissen eine Potential-Differenz, er enthält positive Elektricität, das Kissen negative Elektricität. Der Potential-Unterschied kann gering sein, nichts desto weniger werden die erzeugten Elektricitätsmengen im Allgemeinen bedeutend sein, weil die beiden sich berührenden Reibungsflächen einander sehr nahe liegen. So lange die geriebene Glasfläche und das Reibkissen in Berührung stehen, sind die Wirkungen der beiden entgegengesetzten Elektricitäten verschwindend klein. Sobald aber der geriebene Glastheil den reibenden Körper verlässt, so kommt die auf ersterem befindliche positive Elektricität zu voller Wirksamkeit, die Elektricität des Reibzeuges begibt sich in den Conductor *O*, der meist den Namen des negativen Conductors führt und gewöhnlich zur Erde abgeleitet ist, um eine Ausgleichung der immer stärker anwachsenden entgegengesetzten Elektricitäten zu vermeiden. Das mit positiver Elektricität von hoher Spannung bewegte Glas kommt bei seiner Drehung gegen den sogenannten positiven Conductor, der, wie aus Fig. 4 zu ersehen, mit vielen Metallspitzen in leitender Verbindung steht. Hier tritt nun die bekannte Spitzenwirkung auf; die positive Elektricität der Glasscheibe zieht die negative Elektricität des Conductors in die Spitzen, die positive wird in denselben zurückgestossen; erstere erlangt in den Spitzen eine ausserordentliche Spannung und strömt auf die Glasscheibe über, was sich durch den elektrischen Wind und das negative Glimmlicht bemerkbar macht. Es tritt nun eine Neutralisirung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten auf der Glasscheibe ein, während der Con-

ductor hochgespannte positive Elektricität besitzt. Beim Zurückdrehen der Scheiben gegen das Reibzeug und Reiben an demselben wiederholen sich die erwähnten Phänomene.

Erwähnt sei an dieser Stelle, dass zuweilen — nachdem das Glas die Saugspitzen verlassen hat — noch negative Elektricität auf demselben mitgeführt wird, die dann vom Reibzeug gleichsam abgewischt wird. Das würde z. B. dann eintreten, wenn nur ein Kamm der Scheibe gegenüberstehen würde, die Kissen aber — wie in der schematischen Figur — vorhanden wären. Die geriebene Glasscheibe besitzt beiderseits etwa eine Elektricitätsmenge E; beide Seiten derselben wirken influirend auf den Kamm und es wird aus diesem eine negative Elektricitätsmenge auf die gegenüberliegende Scheibenoberfläche strömen, die fast $-2E$ sein wird und nach Neutralisirung der dort befindlichen $+E$ im Ueberschusse vorhanden sein wird; man erkennt, dass die Glasscheibe auf beiden Seiten entgegengesetzt bezeichnete Elektricitäten zum Reibzeuge zurückführt.

Es ist leicht zu ersehen, dass — wenn nur einer Seite der Glasscheibe ein Saugkamm gegenübersteht — die erzeugte Elektricitätsmenge fast dieselbe bleibt, als wenn die Spitzen die Glasscheibe armförmig umgeben. Es wirken nämlich die beiden positiv elektrischen Seiten der Glasscheibe influirend auf den Metallkamm; die dem letzteren fernerstehende Seite allerdings in geringerem Grade, was aber bei der geringen Entfernungs-Differenz unberücksichtigt bleiben kann. Es würde somit die Wirkung auf den einzigen Kamm doppelt so gross sein, als auf einen von den zwei Kämmen, welche der Glasscheibe beiderseits nahe stünden, die gelieferte Elektricitätsmenge wird in beiden Fällen nahezu dieselbe sein.

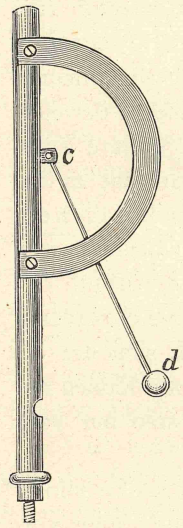
Die positive Elektricität der Glasscheibe wird also vom Reibzeug zum Kamme geführt, die aus letzterem ausströmende negative Elektricität neutralisirt entweder die positive Elektricität der Glasscheibe, oder wird gegen das Reibzeug zurückgeführt; es entsteht daher ein positiv-elektrischer continuirlicher Strom vom Reibzeug zum Kamm oder ein Strom von negativer Elektricität im entgegengesetzten Sinne. Die Intensität dieses Stromes ist von der elektrischen Dichte, von der Grösse der elektrisirten Oberfläche und von der in der Minute stattfindenden Umdrehungszahl abhängig. Man hat in der That gefunden, dass eine Lane'sche Massflasche,*) die mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden ist, sich bei einer und derselben Anzahl der Scheibenumdrehungen gleich oft entladet, dass die Anzahl der Entladungen in einer bestimmten Zeit sich um die Hälfte verkleinert, wenn man z. B. statt zwei Kissen nur eines anwendet, die geriebene Oberfläche also nur halb so gross wird.

Zuweilen spricht man auch von einer elektromotorischen Kraft der Reibungs-Elektrisirmaschine; man versteht darunter die Differenz der Potentiale am Kamm und am Reibzeug. Zufolge dieser Potential-Differenz müssen wir bei der Drehung der Scheibe vom Reibzeug gegen den Kamm eine grössere Arbeit leisten, als jene bei unelektrischen Verhältnissen wäre; wir müssen nämlich die elektrisirte Scheibe von Stellen niederen Potentiales

*) Man sehe »Die Grundlehren der Elektricität« u. s. w. von W. Ph. Hauck (Elektro-technische Bibliothek Bd. IX), Seite 42.

an Stellen höheren Potentials führen, und dieser Vorgang erfordert Arbeitsaufwand; mit anderen Worten, wir müssen die Anziehung zwischen dem negativ elektrischen Reibzeuge und der positiv elektrischen Glasscheibe bei der Drehung der letzteren überwinden. Es ist auch bekannt, dass das Drehen einer bereits elektrisirten Scheibe nicht ohne Mühe ist.

Fig. 5.



Verbindet man mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine ein sogenanntes Henley'sches Quadranten-Elektrometer, dessen Einrichtung aus folgender Figur (Fig. 5) ersichtlich ist, so bemerkt man, dass beim Drehen der Maschine das Kügelchen steigt, bald aber eine Stellung erreicht, welche es fortwährend beibehält, so lange man weiter dreht; es bleibt daher die elektrische Spannung constant und man kann die elektrische Ladung nicht ohne Grenze grösser werden lassen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, dass fortwährend Elektricitätsverluste durch die den Conductor umgebende Luft und die Stützen desselben stattfinden.

Auch wenn diese Verluste nicht stattfinden würden, würde die elektrische Spannung des Conductors eine Grenze erreichen; wird letztere nämlich zu gross, so werden direct zwischen den Kämmen und dem Reibkissen längs der Glasoberfläche elektrische Entladungen stattfinden, die sich im Dunkeln als schöne Feuercurven zeigen.

Wenn das Quadranten-Elektrometer einen constanten Stand anzeigt, so beweist dies, dass der in jedem Zeittheilchen eintretende elektrische Verlust gleich der in derselben Zeit dem Conductor zugeführten Elektricitätsmenge ist.

Mit dem Reibkissen sind Wachstaffetstücke oder Stücke aus dünner gelber gewöhnlich geölter Seide, die aussen lackirt sind, verbunden. Diese Stücke reichen bis nahe an die Saugkämme des Conductors und werden wie das Reibzeug beim Functioniren des Apparates negativ elektrisch, weshalb sie sich eng an die geriebene positiv elektrische Glasscheibe anlegen. Ihr Zweck wird aus Folgendem klar werden: Wenn keine solchen Taffetstücke vorhanden wären, so würde an jener Stelle, an welcher die geriebene Glasscheibe das Reibzeug verlässt, eine Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten dieser beiden Körper eintreten, was man aus den dort im Dunkeln auftretenden Lichterscheinungen erkennen kann. Werden aber die Taffetstücke mit dem Reibzeuge verbunden, so tritt zwischen ihnen und der Glasscheibe eine Potential-Differenz ein, die fast jener gleichkommt, welche zwischen der letzteren und dem Reibzeuge besteht. Es erfolgt die Trennung der durch Reibung entstandenen Elektricitäten am Ende der Taffetstücke, und es kann an diesen Stellen kein oder wenigstens kein vollständiger Ausgleich derselben eintreten, weil die Taffetstücke schlecht leitende Körper sind, was von dem mit Amalgam überzogenen Reibzeuge nicht gesagt werden kann.

Dies ist die eine und wohl die Hauptrolle der Taffetansätze; ausserdem verhindern sie, dass die Elektricität

der Glasscheibe sich leicht in die umgebende Luft zerstreut.

Man kann auch mittelst der Elektrisirmaschine die Elektricität des Reibzeuges sammeln. Wir setzten bisher voraus, dass dasselbe zur Erde abgeleitet sei, wodurch einerseits das Potential der geriebenen Glasscheibe anwächst, andererseits bei zu hohen Spannungen die directe Ausgleichung der auf dem Conductor und Reibzeuge befindlichen Elektricitäten vermieden oder wenigstens vermindert wird. Will man die Elektricität des Reibzeuges sammeln, so wird man den Conductor *A* (Fig. 4) zur Erde ableiten, den zweiten Conductor *O* jedoch isoliren.

Bemerkungen über die einzelnen Theile einer Reibungs-Elektrisirmaschine.

Bevor wir an die Beschreibung einiger älterer und neuerer Elektrisirmaschinen dieser Art gehen, empfiehlt es sich, einige Bemerkungen über die Construction der einzelnen Theile der Maschine voranzuschicken.

Was zunächst den zu reibenden Körper betrifft, so hat man zu dessen Construction mehrfache Substanzen verwendet, so Glas, Schellack, Hartgummi (Ebonit), Guttapercha, Wollenzeug, Papier, Pyroxylinstreifen u. s. w. vorgeschlagen. Am besten bewährt sich Glas. Bei der Wahl desselben muss man jene Glassorten berücksichtigen, deren oberflächliche Leitungsfähigkeit minimal ist; sie müssen stark kieselhaltig, gut isolirend und wenig hygroskopisch sein; insbesondere das leicht verwitterbare Natronglas ist sehr hygroskopisch und eignet sich nicht gut zur Construction von Scheiben und Cylindern. Von Zeit zu

Zeit muss man die Glasscheibe erwärmen und mit rectificirtem Alkohol reinigen, auch öfteres Reiben behebt die oberflächliche hygroskopische Schicht, und man macht die Erfahrung, dass neue Gläser mit dem Gebrauche besser werden. Auch dadurch kann man eine Maschine wirksamer machen, dass man die Glasscheibe oder den Glascylinder mit einer dünnen beiderseitigen Talgschicht überzieht.

Wenn man Ebonitplatten anwendet (wie dies z. B. in vielen für Sprengzwecke dienlichen Elektrisirmaschinen geschieht), so gebraucht man zur Reibung derselben Pelzzeug. Solche Platten liefern bedeutende Elektricitätsmengen, erleiden aber im Laufe der Zeit Deformationen und erhalten an ihrer Oberfläche eine Schicht von Schwefelsäure (Verbindung des bei der Elektrisirung der Luft entstandenen Ozons mit dem Schwefel der Ebonitplatte), welche die Wirkung der Scheibe nicht wenig vermindert. Man kann die Oberflächen solcher Platten reinigen, wenn man sie mit Pottaschelösung abwäscht, mit Schmirgelpapier oder mit gebrannter Magnesia abreibt.

Die weiter oben angegebenen zur Construction verwendbaren Substanzen eignen sich wegen ihres bedeutenden hygroskopischen Verhaltens und ihrer geringen Festigkeit weniger gut.

Die Reibzeuge waren in einigen älteren Maschinen aus Leder verfertigt, das mit Haaren ausgestopft war; in den heutigen Maschinen wendet man einige Lagen Flanell an, auf welchen ein Stück Schafleder aufgeklebt ist; diese Construction empfiehlt sich gegen die früheren, da eine weiche Polsterung mit der Zeit die Elasticität verliert. — Schon frühzeitig machte man die Erfahrung, dass

ein Ueberdecken der Kissen mit metallischen Substanzen sich vortheilhaft erweist. Die Wachstaffetstreifen, welche van Marum an die Kissen seiner Maschine fügte, bedeckte er mit Stanniol. Man hat eine Reihe von Amalgamen verfertigt, mit welchen man die Kissen an jenen Flächen bestreicht, welche der Glasscheibe gegenüberstehen. Es scheint der physikalische Zustand dieser Amalgame eine wichtigere Rolle als die Zusammensetzung derselben zu spielen. Die Hauptwirkung der Amalgame scheint darauf zu beruhen, dass diese durch Reibung mit starker negativer Elektricität sich laden; diesbezüglich hat der französische Elektriker Gaugain mehrfache Versuche angestellt und E. Becquerel hat ebenfalls die Wirkung verschiedener auf die Reibzeuge gebrachter Stoffe studirt. Canton hat 1762 Zinnamalgam angewendet; einige Jahre später führte Higgins das Zinkamalgam (4 Th. Zink, 1 Th. Quecksilber) ein. In neuerer Zeit wurde ein aus 8 Th. Wismuth, 5 Th. Blei, 3 Th. Zinn und 7—8 Th. Quecksilber bestehendes Amalgam von Brame vorgeschlagen. Auch Mussivgold (Zinnbisulfat) erweist sich recht gut wirksam; es ist gut, dasselbe vor dem Gebrauche mit Wasser zu waschen und gut zu trocknen, da das im Handel vorkommende Mussivgold gewöhnlich noch Ammoniaksalze enthält.

Am verbreitetsten ist das von Kienmayer in Wien 1789 verfertigte Zinn-Zink-Amalgam. Man schmilzt in einem Tiegel 1 Th. Zink und 1 Th. Zinn zusammen, und fügt dann 2 Th. Quecksilber zu; die Metalle vereinigen sich beim Reiben in einer Metallschale sehr bald mit dem Quecksilber; um die Massen homogen zu machen, werden sie nochmals in dem Tiegel oder einem Löffel

aus starkem Schwarzblech zusammengeschmolzen, die Mischung auf einen Stein ausgegossen und nach dem Erstarren zerbröckelt. Diese Masse wird fein gepulvert und durch Erwärmen und Legen auf erwärmtes Papier auf das Sorgfältigste von aller Feuchtigkeit befreit. Die Kissen werden ebenfalls erwärmt und das Leder derselben mit wasserfreiem Fett (etwa Cacaobutter) etwas bestrichen; sie werden dann aneinander gerieben, bis eine vollkommen continuirliche dünne Fettschicht auf ihnen haftet; hierauf legt man sie auf das Amalgam, reibt sie abermals gegen einander und setzt diesen Vorgang so lange fort, bis das Leder ein gleichmässig metallisches Aussehen erhalten hat.

Was den Druck betrifft, den die Reibzeuge gegen den geriebenen Körper ausüben sollen, so ist derselbe nur so gross zu wählen, dass die einzelnen Stellen des Glaskörpers beim Durchgange durch die Kissen mit dem Amalgame in Berührung kommen. Wird der Druck darüber vergrössert, so wird die Elektricitäts-Erregung keineswegs befördert. Dieser Umstand ist durch vielfache Versuche bestätigt worden.

In früherer Zeit hat man gewöhnlich mehrere Reibkissen in Anwendung gebracht; in den heutigen Maschinen dieser Art gebraucht man gewöhnlich zwei gegenüberstehende. Wendet man mehr als je zwei diametral gegenüberliegende an, so läuft man Gefahr, dem Uebergange der Elektricität des Conductors bald eine Grenze zu setzen, weil die Entfernung zwischen ihnen zu klein wird.

Der dritte Hauptbestandtheil der Elektrisirmaschine, der Conductor, bestand bei den Apparaten älterer Construction meist aus einem oder mehreren Messingcylin-

dern, die halbkugelförmig endigen. An keiner Stelle des Conductors dürfen eckige Formen auftreten, denn sonst würde die Ladung des Conductors wegen der hohen Spannung der Elektricität aus den Spitzen und Kanten entweichen. Es muss, um nur z. B. eines zu erwähnen, dafür gesorgt werden, dass an jener Stelle, an welcher der Conductor auf einen wohl isolirenden Stab aufgesetzt ist, keine scharfen Uebergänge stattfinden; die Befestigungsschrauben müssen kugelförmig oder ringförmig abgerundet sein u. s. w. Wir werden später bei der Besprechung der Winter'schen Elektrisirmaschine noch näher auf die Einrichtung des Conductors zurückkommen.

In den modernen Reibungs-Elektrisirmaschinen wendet man für den positiven Conductor kugelförmige Conductoren aus Messingblech oder aus polirtem Holze an, das mit einigen Stanniolstreifen belegt ist, der negative Conductor hat fast immer noch die Cylinderform. Zuweilen verlängert man den Conductor in der Weise, dass man an ihn einen mit einer Kugel versehenen Metallarm ansetzt, welche Einrichtung folgenden Vortheil hat: die in dem Conductor zurückgestossene Elektricität, welche jener des geriebenen Körpers gleichnamig ist, sammelt sich recht weit von letzterem an und kann nicht durch Rückwirkung den Uebertritt der Elektricitäten des Isolators stören.

Die Saugspitzen oder Saugkämme reichen nur so weit, als sie den geriebenen Stellen des Isolators gegenüberstehen. In einigen Elektrisirmaschinen (z. B. in der Sprengtechnik verwendeten) findet man statt eines Saugkammes nur einen ziemlich grossen und sehr spitzen Metalldorn.

Man könnte glauben, dass eine Vergrösserung der Conductoren unter allen Umständen Vortheile biete, da dadurch die elektrische Capacität vergrössert, somit die auf dem Conductor zu sammelnde Elektricitätsmenge ebenfalls vermehrt wird. Abgesehen davon, dass solche Conductoren schwerfällig werden, muss man im Auge behalten, dass man bei der Vergrösserung des Conductors bald zu einer Grenze kommt, da sich zwischen der erzeugten Elektricitätsmenge und jener, welche durch die Luft und die ungenügende Isolirung der Stützen entführt wird, bald ein Gleichgewichtszustand herstellt. Ein darüber hinausgehendes Vergrössern der Conductor-Oberfläche wird zur Vergrösserung beider Elektricitätsmengen, der zugeführten und der entführten, beitragen. Letztere kann aber bedeutender sein als erstere, und dann functionirt die Maschine schlechter. Es ist daher gut, ein ganz bestimmtes Grössenverhältniss der Oberfläche des geriebenen Körpers und jener des Conductors festzuhalten.

Dass die Isolirung der Conductoren eine tadellose sein muss, ist selbstverständlich. Die Glasfüsse, welche als Ständer verwendet werden, müssen vor dem Gebrauche des Apparates gut mit einem trockenen und warmen Tuche abgewischt werden; zum Schutze gegen die Feuchtigkeit erweist es sich vortheilhaft, die Füsse mit einer sehr dünnen Talg- oder Paraffinschicht zu bedecken und einen warmen, trockenen Luftstrom, der einem eigens zur Maschine gehörigen Ofen entströmt, gegen den Apparat zu senden.

Bei feuchter Witterung ist es nicht möglich, dem Conductor eine so starke Ladung zu verleihen, wie bei trockenem Wetter. Man kann sich davon sehr leicht an

dem verschiedenen Stande der Kugel eines Henley'schen Quadranten-Elektrometers überzeugen. — Man kann auch, um die Wirksamkeit einer Maschine zu verschiedenen Zeiten oder jene von mehreren Maschinen, welche einen gleichen Conductor besitzen, zu vergleichen, in einer bestimmten Zeit die Zahl der Funken zählen, welche bei derselben Rotations-Geschwindigkeit von einer Stelle des Conductors zu einer gegenüber aufgestellten mit der Erde verbundenen Kugel überspringen.

Wir schliessen nun diese allgemeinen Bemerkungen, welche sich auf alle Reibungs-Elektrisirmaschinen beziehen. Die wesentlichen Abänderungen, welche an dem einen oder anderen Hauptbestandtheile einer speciellen Maschine anzutreffen sind, werden im Nachfolgenden erörtert werden.

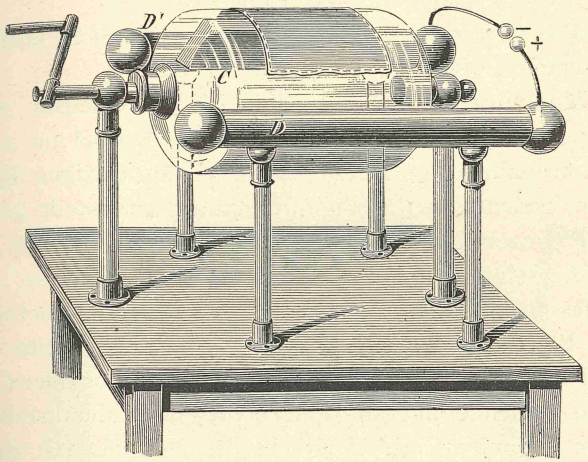
Einige ältere und neuere Cylinder- und Scheibenmaschinen.

Wir wollen in der folgenden Beschreibung einiger Reibungs-Elektrisirmaschinen den Glascylinder-Maschinen ihr historisches Vorrecht lassen und mit der Beschreibung der schon früher erwähnten, einst vielgebrauchten Maschine von Nairne vom Jahre 1773 beginnen.

Maschine von Nairne. In derselben (Fig. 6) wurde ein Glascylinder C mittelst einer Kurbel um seine Axe gedreht; der Durchmesser dieses Cylinders betrug 12 Zoll und die Länge desselben 19 Zoll. Auf der einen Seite des Cylinders befand sich axenparallel ein anderer isolirter Cylinder D', welcher das Reibkissen trug; dasselbe wird durch Federn an den rotirenden Glascylinder angepresst. Auf der entgegengesetzten Seite des

grossen Cylinders war ein dem Cylinder D' in der Grösse gleichkommender Cylinder D isolirt aufgestellt, welcher entsprechend der Länge der Kissen einen Metallkamm trug. In der Maschine von Nairne befand sich bereits der vom Reibzeuge ausgehende Taffetstreifen, der sich bei der Drehung der Glaswalze an den oberen Theil der-

Fig. 6.



selben anlegte. In der Figur erblickt man noch zwei von den beiden kleinen Cylindern ausgehende Metallarme, welche in Kugeln endigen. Nähert man dieselben einander bis auf eine bestimmte Entfernung, so wird zwischen den kleinen Kugeln in gewissen Zeitintervallen ein elektrischer Funke dem anderen folgen; die beiden Elektricitäten gleichen sich in dieser Form aus. Will man die eine oder andere Elektricität sammeln, so leitet man den Cylinder D oder D' zur Erde ab.

Die Maschine von Nairne, welche der von Winckler und Pater Gordon construirten ähnlich ist, gibt gute Wirkungen und zeichnet sich durch ihre compendiöse Form aus. Ein Umstand tritt oft der starken Elektricitäts-Entwickelung hindernd in den Weg: ist nämlich die Rotationsaxe des Cylinders nicht gehörig isolirt, so finden zwischen derselben und den Conductorcylindern Elektricitäts-Uebergänge nur zu leicht statt.

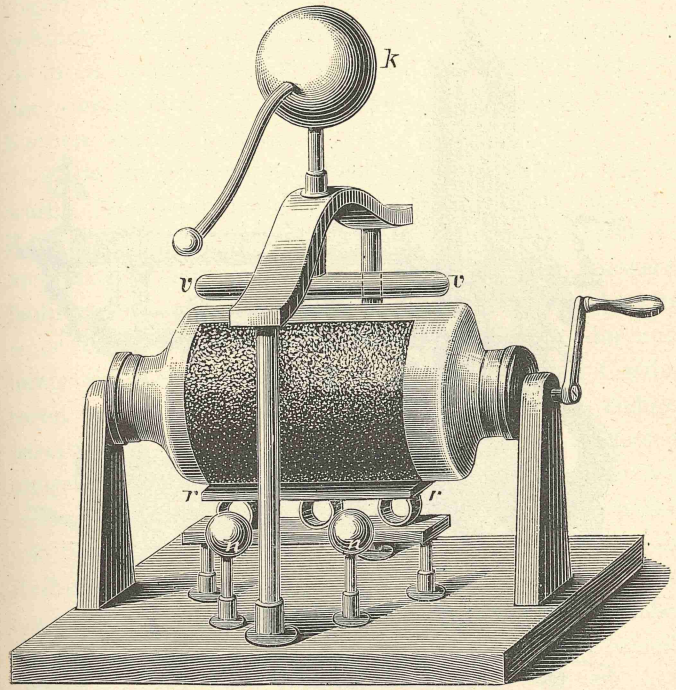
Von neueren Glascylinder-Maschinen, welche kräftige Wirkungen aufweisen, erwähnen wir die

Maschine von Grüel (Fig. 7). In derselben wird ein grosser Glascylinder, der durch eine Kurbel um seine Axe drehbar eingerichtet ist, an einem einzigen Reibkissen, welches in der Figur durch *r r* dargestellt ist, in seiner ganzen Länge gerieben. Es ist das letztere mit Metallkugeln *n n* in metallischer Verbindung; diese, von Glasfüssen getragen, dienen als negative Conductoren. Dem Reibzeuge gegenüber, auf der anderen Seite des geriebenen Cylinders, befindet sich der als positiver Conductor dienende, mit Saugspitzen versehene Metallstab *v v*, der in leitender Verbindung mit der Hohlkugel *k* steht, welche den früher erwähnten, kugelförmig endigenden Metallstab trägt. Zur Vermeidung der Elektricitätsverluste ist auch bei dieser Maschine am Reibzeuge ein Wachstaffetstreifen befestigt, welcher sich in der dargestellten Weise an den Cylinder anlegt.

Alle Cylindermaschinen sind — wenn sie etwas grössere Dimensionen besitzen — schwierig zu construiren; bei grösseren Cylindern kann eine Bearbeitung derselben auf der Drehbank nicht erfolgen, weil sie leicht springen würden; man muss sie daher so anwenden, wie sie aus

der Glasbläserei kommen; dann besitzen sie jedoch an ihrer Oberfläche Unebenheiten, welche einer gleichmässigen Reibung an den Kissen hinderlich sind und in Folge dessen die Elektricitäts-Entwickelung schädigen.

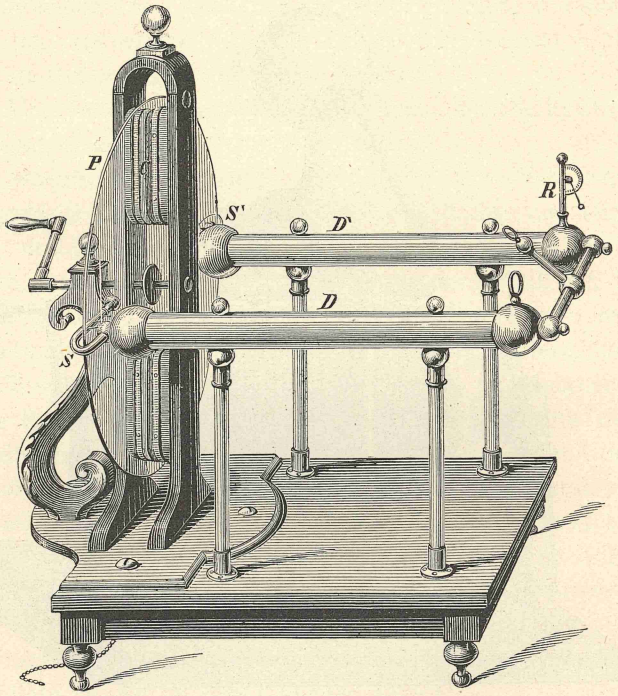
Fig. 7.



Aus diesem Grunde wendet man heutzutage vorzüglich Scheibenmaschinen an, bei denen der geriebene Isolator bedeutend leichter und in gediegenerer Weise herzustellen ist. Eine der ältesten Formen dieser Maschine war die

Scheibenmaschine von Ramsden (Fig. 8). Eine Glasscheibe *P*, welche um eine durch ihren Mittelpunkt gehende horizontale Axe mittelst einer Kurbel gedreht werden kann, wird von vier Reibern *C C* gerieben, von

Fig. 8.



denen je zwei einander gegenüberstehen und in der Richtung des verticalen Scheibendurchmessers sich befinden. Diese Reiber bestanden aus mit Haaren ausgestopftem Leder und wurden von zwei Holzsäulen getragen, welche zu beiden Seiten der Glasscheibe standen;

sie wurden durch elastische Stahlfedern an das Glas gedrückt. In der ursprünglichen Maschine von Ramsden besassen die Reiber noch keine Taffetblätter, und erst van Marum brachte dieselben an dieser Maschine an. Die Kissen wurden mit einer Amalgamschicht überzogen und in leitende Verbindung mit Kupferstücken gebracht, welche in die Holzsäulen eingefügt waren und an ihren unteren Enden in einen Metallknopf endigten, der durch eine Metallkette mit der Erde leitend verbunden werden konnte.

Die aus der Figur ersichtlichen zwei Conductoren waren Metallcylinder *D D'*, die mit Kugeln an ihren Enden versehen, wohl isolirt aufgestellt und durch ein metallenes Querstück verbunden waren. Zur besseren Isolirung überzog man die tragenden Glasstäbe mit einer dünnen Schellackschicht, ein Vorgang, der auch heute noch oft angewendet wird. Diese beiden Conductoren gehen bis an die Glasscheibe heran und endigen daselbst in Metallarme, welche die Scheiben beiderseits umgeben und an ihrer Innenseite mit Metallspitzen versehen sind; die Länge der Theile dieser Arme, welche mit Saugspitzen ausgerüstet sind, stimmt mit jener der Reibkissen überein, so dass die geriebenen Glasstellen bei der Rotation der Scheibe den Kämmen gegenüberstehen, was nach je einer Viertelumdrehung der Scheibe eintritt.

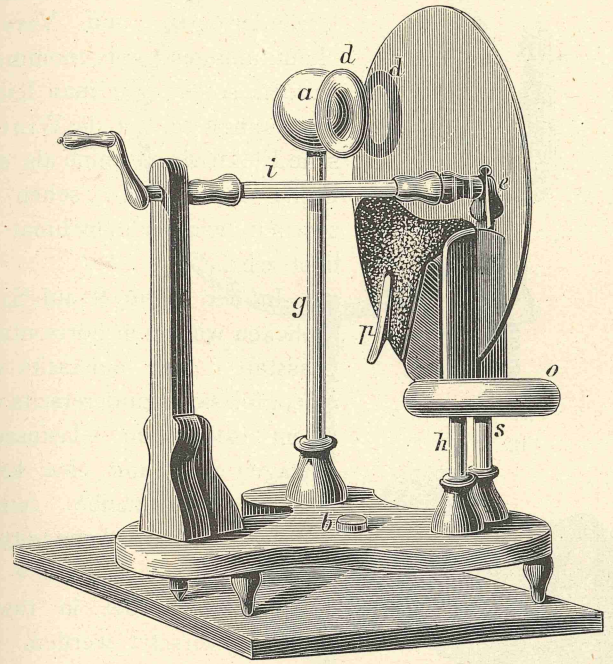
Bedeutend stärkere Wirkungen, als mit der oben beschriebenen, erzielte van Marum mit seiner bekannten grossen Maschine, in der zwei Scheiben von 8 Reibkissen gerieben wurden, welche so wie bei der Ramsdenschen Maschine angebracht waren. Wir haben die Grössen-

dimensionen der Maschine von van Marum bereits in der obigen geschichtlichen Skizze angegeben und es erübrigt uns nur zu bemerken, dass an der letzteren Maschine die Stützen der Kissen aus Glasstäben verfertigt waren und dass zur Vermeidung des Elektricitäts-Ueberganges von den Kämmen und den Kissen zur Rotationsaxe die Scheiben mit einer harzigen Substanz an allen jenen Stellen bedeckt wurden, welche nicht zur Reibung gelangten. Auch die Conductoren änderte van Marum insoferne, als er diesen die Kugelform gab. Zur Vermeidung jeder Ecke oder Kante höhlte er diese Kugel nabelförmig aus; in diese Oeffnung wurde der den Conductor tragende Glasstab eingekittet. Wir werden dieser Vorsichtsmassregel auch bei jener Maschine begegnen, welche vom Mechaniker Winter in Wien construirt wurde.

Einige Jahre später fertigte van Marum eine Maschine an, bei welcher die Glasscheibe am Ende einer horizontalen Drehungsaxe getragen wurde; die zwei Paar Reibkissen befanden sich an den beiden Enden des horizontalen Scheibendurchmessers. Von einer isolirten Kugel gingen zwei Arme aus, die in zwei kleine, zur Scheibe parallele Cylinder endigten und so gestellt werden konnten, dass die erwähnten Cylinder sich in einer verticalen Ebene befanden. Man konnte so die positive Elektricität des Glases sammeln. Die negative Elektricität der Kissen konnte in einem ähnlichen Conductor gesammelt oder durch diesen abgeleitet werden. Man benützte diese Maschine jedoch nur wenig, sie war leicht zerbrechlich und schwerfällig. Um die am Ende der Drehungsaxe sitzende Glasscheibe zu aequilibriren, bedurfte es eines nicht unbedeutenden Gegengewichtes.

Ein bedeutender Fortschritt in der Construction der Reibungs-Elektrisirmaschine trat erst dann ein, als der

Fig. 9.



kürzlich verstorbene Wiener Mechaniker Karl Winter seine leistungsfähige Maschine der Oeffentlichkeit übergab. Da diese Maschine heute fast ausschliesslich in Verwendung steht, soll ihre Einrichtung genauer beschrieben werden.

Maschine von Winter. Schon im verflossenen Jahrhundert wurden nach den Angaben von Le Roy Elektrisirmaschinen verfertigt, welche in der äusseren Form den Winter'schen Maschinen ähnlich waren. Bedenkt man, dass an der letzteren mannigfaltige nützliche Veränderungen und Vervollkommnungen vorgenommen wurden, so erkennt man leicht, dass es ungerecht ist, die Winter'sche Elektrisirmaschine als eine Copie der Le Roy'schen anzusehen, wie es manchmal beliebt wird.

Fig. 10.

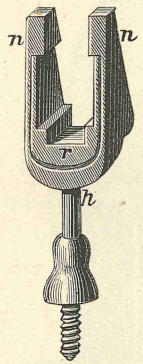
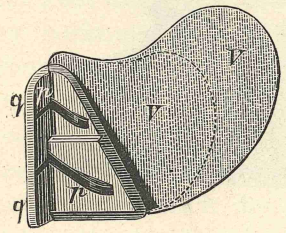


Fig. 11.

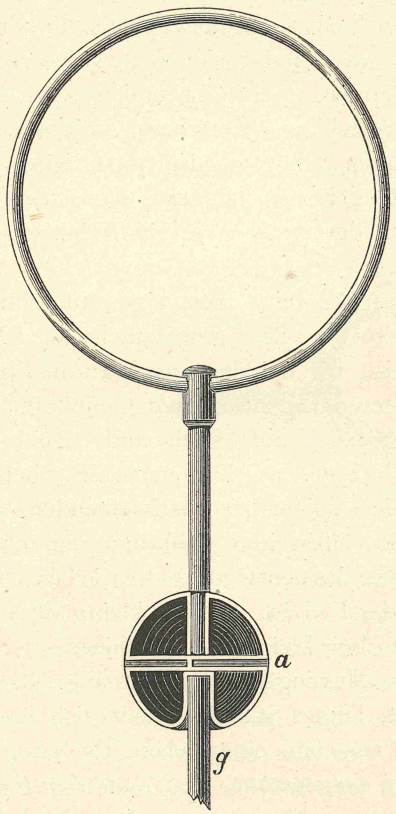


In der Figur 9 auf S. 41 erblicken wir einen horizontalen Glasstab *i*, der einerseits von einer Holzsäule, andererseits von einem isolirenden Glasfusse *s* getragen wird und eine kreisförmige Glasscheibe central durchsetzt; letztere kann mittelst einer an dem Glasstabe *i* angebrachten Kurbel in rasche Drehung versetzt werden.

Auf einem ebenfalls isolirten Stative *h* befindet sich ein gabelförmiges, vertical stehendes Holzstück *n n* (Fig. 10), das auf beiden Innenseiten ausgeschnitten ist, um die zwei Reibkissen, zwischen denen die Maschine gerieben wird, aufzunehmen. Ein Messingstreifen *n n r* führt

die negative Elektricität des Reibzeuges zur Oeffnung *r*, in welche der negative Cylinderconductor *o* eingesetzt wird.

Fig. 12.



Die Reibzeuge bestehen aus zwei Holzstückchen (Fig. 11), welche dreieckig geformt und mit Flanell und mit amalgamirtem Leder belegt sind. An das Leder

setzt sich ein Wachstaffetlappen $V\,V$ an, welcher gewöhnlich noch mit Schellack überzogen wird.

Damit das Reibkissen durch die Gabel $n\,n\,r$ nicht durchschlüpft, ist eine Holzleiste q an dem Träger des amalgamirten Leders angebracht; damit ferner letzteres unter einem sanften Drucke gegen die rotirende Glasscheibe angepresst werde, befinden sich an der Rückwand des dreieckigen Brettchens Stahlfedern $p\,p$.

Wir haben uns nun die Glasscheibe genau in die Mitte der Gabel $n\,n\,r$ eingestellt zu denken und zu beiden Seiten der ersteren je ein Reibkissen angebracht anzunehmen.

Die Figur 12 zeigt den eigenthümlich gestalteten Kugelconductor a, der gewöhnlich aus Messingblech besteht; er ist, wie bei der van Marum'schen Maschine, mit der unteren nabelförmigen Oeffnung auf einen isolirenden Glasstab g aufgestellt und besitzt mehrere eingelöthete Blechhülsen. Die verticale obere dient zur Aufnahme des später zu beschreibenden Winter'schen Ringes; die linksseitige Bohrung nimmt ein Metallstäbchen auf, das entweder — wie es bei grösseren Apparaten der Fall ist — eine kleine Metallkugel trägt, oder — wie bei kleineren Maschinen — ein schwach gekrümmtes Messingstückchen v (Fig. 13) an seinem Ende besitzt. Dieses Stäbchen lässt sich in der horizontalen Hülse aus- und einschieben. Es hat nicht nur den Zweck, einen Gegenstand, den man elektrisiren will, an den Conductor anzuhängen, sondern auch die Funkenlänge zu variiren.

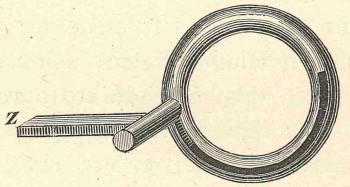
Eine mathematische Betrachtung lehrt nämlich, dass, wenn z. B. zwei mit einander leitend verbundene Kugeln

elektrisirt werden, die Dichten der Elektricität auf diesen Kugeln sich verkehrt wie die Halbmesser der Kugeln verhalten. Will man starke Funken aus dem Conductor ziehen, so wird man das Röhrchen soweit in die Hülse einschieben, dass das Messingstück dicht an den Conductor anliegt; will man aber elektrisches Büschellicht aus dem Conductor erhalten, so zieht man das Röhrchen weiter aus der Hülse heraus.

In die rechtsseitige horizontale Oeffnung wird die Saugvorrichtung eingeschoben, die bei der Winter'schen

Fig. 13.

Fig. 14.



Maschine ebenfalls merkwürdig umgestaltet ist. Es sind nämlich (Fig. 14) zwei Ringe von polirtem Holze an jenen Seiten, welche der zwischen ihnen sich drehenden Glasscheibe zugekehrt sind, mit einer Rinne versehen, die auf ihrem Boden mit Stanniol beklebt ist; von dieser Stanniolbelegung erheben sich gegen die Glasscheibe zu eine Reihe sehr feiner Saugspitzen; andererseits ist die Rinne durch einen Stanniolstreifen mit dem Träger z der Saugringe, und da dieser in den Conductor gestellt wird, auch mit letzterem in leitender Verbindung. Dieser Träger z ist ebenso wie die Hülse, in welche er passt, eckig gestaltet, damit die Saugringe keine Drehung erfahren können.

Würde man mit dem Conductor der Elektrisirmaschine einen zweiten viel grösseren Kugelconductor verbinden und aus dem ersteren Funken ziehen, so würde man eine bedeutende Vergrösserung derselben wahrnehmen; wir haben oben nämlich den aus der Theorie folgenden Satz aufgestellt, dass die Dichten der Elektricität auf den beiden Kugeln sich umgekehrt wie deren Radien verhalten. Da aber die Hinzufügung einer so grossen Kugel unbequem wäre, hat Winter diesem Conductor die Form eines Ringes gegeben. Dieser Winter'sche Ring besteht aus Holz, das aussen polirt, im centralen Kerne aber ausgehöhlt und mit Eisendraht ausgefüllt ist; auch der Holzstab, mittelst dessen man den Ring auf den Conductor aufsetzt, ist in seiner Axe von dem Eisendrahte durchzogen.

Mit Hilfe seines Ringes erzielte Winter ganz bedeutende Effecte; er erreichte Funken von 60 cm, ja sogar von 1 m, wie es z. B. bei der Elektrisirmaschine des polytechnischen Institutes in Wien der Fall ist, die nach seinem Systeme umgebaut wurde.

Zu bemerken wäre noch, dass Emsmann versuchte den Winter'schen Ring durch eine andere Vorrichtung zu ersetzen. Er nahm 3—5 an einem Ende zugeblasene Glasröhren, die auf ihren Aussenseiten mit Stanniol überkleidet waren, steckte sie in einander und umgab sie mit einer ungefähr 5 cm weiten ähnlichen, aber unbelegten Röhre. Die einzelnen Stanniolbelegungen standen unter einander in leitender Verbindung und auch mit einem Metallhaken, der an dem Conductor der Elektrisirmaschine befestigt wird. Doch findet man beinahe nirgends diese Vorrichtung in Anwendung und es ist richtig, wenn

Professor Mascart in seinem Werke über statische Elektricität behauptet, es sei nicht einzusehen, was die vielen metallischen Belegungen zu schaffen hätten, es sei ja ohnehin nur die äusserste jene, welche eine Elektrisirung erfährt.

Die Elektricitätsmenge, welche von einer Winterschen Elektrisirmaschine erzeugt wird, ist, da nur ein Kissenpaar verhanden ist, kleiner als die von einer Ramsden'schen Maschine in derselben Zeit erzeugte Elektricitätsmenge, da bei der letzteren in derselben Zeit eine doppelt so grosse Glasoberfläche gerieben wird. Wo man grosse Elektricitätsquantitäten benöthigt, wird man daher mit Vortheil Elektrisirmaschinen anwenden, bei denen mehrere Reibkissenpaare vorhanden sind. Die Maschine von Winter hat aber den grossen Vortheil, dass wegen der grösseren Entfernung des Reibkissens und der Saugkämme, die 180° im Winkelmasse beträgt, die Potential-Differenz eine weit höhere als bei der Maschine ist, bei welcher die Entfernung dieser beiden elektrisch differenten Körper nur 90° beträgt. Zur Erzeugung starker Funken eignet sich die Maschine von Winter daher in hohem Masse.

Es würde uns noch die Aufzählung und Beschreibung jener Elektrisirmaschinen obliegen, die für militärische Zwecke als Zündapparate eingerichtet wurden; doch verweisen wir den Leser diesbezüglich auf den XV. Band*) dieser Bibliothek, in welchem diese Instrumente in ausführlicher Weise dargestellt werden. Es sei nur bemerkt, dass auch hier Cylinder-Elektrisirmaschinen

*) Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke. Von Dr. Friedrich Wächter.

ebenso wie solche mit rotirenden Scheiben in Verwendung kommen. Eine Maschine der ersten Art, bei welcher der Cylinder aus Hartgummi bestand, war früher bei der österreichischen Geniewaffe in Verwendung; die Scheibenmaschinen, welche in diese Gruppe gehören, enthalten entweder Scheiben aus Spiegelglas oder aus Hartgummi, das mit Pelzwerk gerieben wird. Da diese Apparate principiell als solche keinen grossen Fortschritt in der Entwicklung der Elektrisirmaschine aufweisen, wollen wir uns nur auf diese kurzen Bemerkungen beschränken.

Hydro-Elektrisirmaschine von Armstrong.

Es wurde früher erwähnt, dass die Reibungselektricität ihrem Wesen nach mit der Contactelektricität bei der Berührung zweier Metalle, wie sie von Volta entdeckt wurde, übereinstimme. Aber auch dann, wenn von den beiden sich reibenden und dann getrennten Körpern der eine flüssig, der andere fest ist, entwickeln sich Elektricitätsmengen auf diesen beiden Körpern, welche gleich gross, aber vom entgegengesetzten Zeichen sind.

Zu dieser wichtigen Entdeckung führte ein Zufall. Beim Reguliren einer Dampfmaschine, die in der Nähe von Newcastle aufgestellt war, legte der Maschinenwärter die eine Hand auf den Hebel des Gewichtsventiles, um die Belastung des Ventiles zu variiren, die andere Hand brachte er in den Dampfstrahl, welcher aus einer Ritze in der Nähe des Sicherheitsventiles entwich; er fühlte einen heftigen Schlag und es entstand ein kräftiger elektrischer Funke, der zwischen dem Hebel und der Hand des Maschinenwärters übersprang. Diese

1840 gemachte Entdeckung wurde dem englischen Ingenieur Armstrong mitgetheilt und letzterer suchte dieser eigenthümlichen Art der Elektricitäts-Erzeugung auf den Grund zu kommen. Auch er beobachtete an mehreren Dampfkesseln ähnliche Erscheinungen. Den unter dem Einflusse eines starken Druckes ausströmenden Dampf fand Armstrong positiv elektrisch. Eine Locomotive, welche er auf eine isolirende Basis aufstellte, fand er so stark negativ elektrisch, dass er ganz bedeutende Funken aus derselben ziehen konnte; er sorgte hierbei dafür, dass die positive Elektricität des Dampfes gehörig abgeleitet wurde.

Schon Armstrong fand das bemerkenswerthe Resultat, dass die Reinheit des im Dampfkessel sich befindenden Wassers einen wesentlichen Einfluss auf die Menge der erzeugten Elektricität übt, dass ferner letztere von der Beschaffenheit des Körpers, der den Rand der Ausströmungsöffnung des Dampfes bildet, und auch von dem Drucke des Dampfes abhängig ist. Auch die Thatsache, dass durch Reibung vom trockenen Dampfe an den Ausströmungsröhren fast keine Elektricität hervorgerufen wird, ebenso jene, dass der gesättigte Dampf, namentlich in jenem Stadium, in dem er bereits condensirte Flüssigkeitströpfchen enthält, die meiste Elektricität liefert, wurde bereits von Armstrong festgesetzt.

Man hatte schon viel früher eine Hypothese aufgestellt, durch welche man die Entstehung der atmospärischen Elektricität zu erklären suchte. Man dachte nämlich, diese Elektricitäts-Entwicklung entstünde durch die Bildung des Dampfes oder durch die nachfolgende Condensation desselben. Nun suchte man die elektrischen

Phänomene, welche man an dem aus einem Dampfkessel strömenden Dampfe beobachtete, mit diesen älteren Anschauungen in Einklang zu bringen.

Es ist aber durch schöne Experimental-Untersuchungen, welche der berühmte englische Physiker Michael Faraday später durchführte, unzweifelhaft nachgewiesen worden, dass weder die Dampfbildung, noch die Condensation desselben Ursache der Elektricitäts-Entwicklung seien, dass nur die Reibung des unter starkem Drucke aus einer Oeffnung ausströmenden Dampfes an den Wandungen der letzteren ziemlich bedeutende Elektricitätsmengen hervorrufe.

Wenn wir die Ergebnisse, zu welchen Faraday in seinen Forschungen gelangte, überblicken, so finden wir in denselben auch die von Armstrong angeführte Thatsache festgestellt, dass ein Strom von trockenem oder überhitztem Dampfe, also solchem, welcher vollkommen frei von Flüssigkeitstheilchen ist, keine Elektricitäts-Entwicklung veranlasst.

Als Faraday dem Wasser im Dampfkessel eine geringe Menge gelösten Salzes zusetzte, hörte die Elektricitäts-Entwicklung auf; diese merkwürdige Erscheinung erklärte Faraday durch die Leitungsfähigkeit, welche das Wasser durch den Salzzusatz erhält. Als er dem Wasser isolirende Körper in fein zertheiltem Zustande beigab, so z. B. Oele, Fette, Harze, so zeigte sich der ausströmende Dampf negativ elektrisch, der Dampfkessel hingegen positiv elektrisch. Bei Anwendung von Terpentinöl hört der negative Zustand des Dampfes bald auf und macht dem positiven Platz

wenn nämlich das gesammte Terpentinöl verdampft und fortgerissen wurde. Körper, welche weniger flüchtig sind, wie die fetten Oele, erhalten den Dampfkessel längere Zeit hindurch positiv elektrisch. Diese von Faraday beobachteten Erscheinungen veranlassten ihn, die Meinung auszusprechen, es seien weder die Theile des Wassers, noch jene des Dampfes, welche durch ihre Reibung an der Ausflussröhre Elektricität erzeugen, sondern die isolirenden Stoffe, welche in feiner Schicht die einzelnen Wassertröpfchen umgeben würden. Bemerkt sei zu diesen eben erwähnten Versuchen, dass in der That Faraday nachwies, dass die Anwesenheit des Wassers überflüssig sei, um Elektricität zu erhalten. Erfolgt ein starker Luftstrom, in welchem feine Pulver suspendirt sind, so wird derselbe elektrisch und zwar mit einem Zeichen, welches mit der Beschaffenheit des Pulvers variirt. Doch sind die so erzeugten Elektricitätsmengen im Verhältnisse zu jenen, welche durch die Reibung vom feuchten Dampfe entstehen, gering. Jedenfalls aber ist die Reibung der Flüssigkeitströpfchen am Ausflussrohre eines Dampfkessels die Hauptquelle der erregten Elektricität und die Reibung der im Wasser suspendirten Theile ist gegen die erst genannte Reibung viel weniger elektrisch wirksam.

Einen grossen Einfluss auf die Entwicklung der Elektricität hat die Beschaffenheit der Ausflussröhre. Wendet man eine solche aus Holz an, so wird der Dampfkessel immer negativ, der Dampf positiv elektrisch. Dasselbe zeigt sich auch beim Gebrauche einer gläsernen oder metallenen Ausflussröhre. Nimmt man eine Röhre aus Elfenbein, so entsteht keine Elektricität. Unter allen festen Körpern gibt nach den bisher angestellten Ver-

suchen eine Röhre von Buchsbaumholz die besten Resultate.

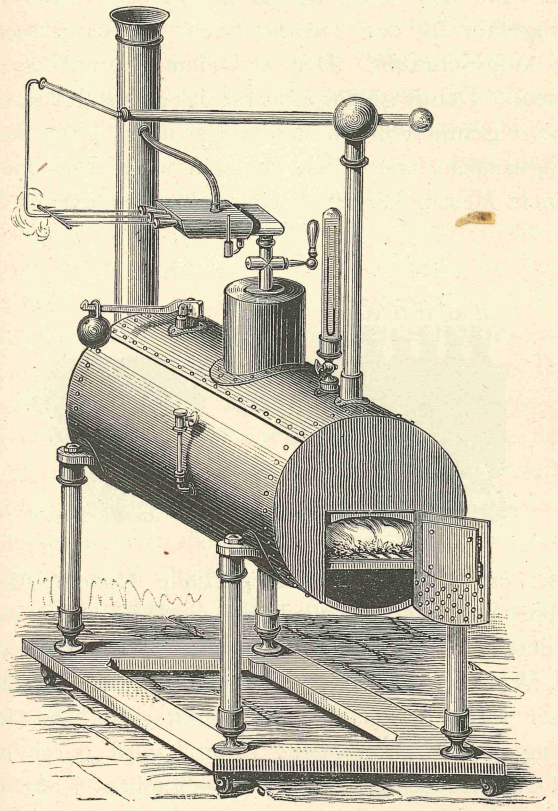
Der Leser ist nun hinlänglich mit den Erscheinungen der Elektricitäts-Erregung beim Reiben von Flüssigkeitstheilchen an festen Körpern vertraut gemacht, um die Wirkungsweise der grossen Armstrong'schen Elektrisirmaschine, der man den Namen »Hydro-Elektrisirmaschine« ertheilte, zu verstehen.

Es wurde diese Maschine, die heutigen Tages nur mehr theoretisches und historisches Interesse bietet, zu praktischen Zwecken jedoch nicht mehr benützt wird, in verschiedenen Grössen gebaut. So hat Ruhmkorff eine derartige Maschine construirt, in welcher der Dampfkessel 80 cm Länge und 40 cm im Durchmesser hatte; das polytechnische Institut in London besitzt eine grosse Maschine dieser Art, bei welcher der Dampfkessel die ansehnliche Länge von 2 m hat und bei welcher der Dampf aus 46 Oeffnungen ausströmt. Die Länge der erzeugten Funken beträgt 60 cm, so dass diese Maschine als eine der wirksamsten, bisher construirten betrachtet werden kann.

Im Innern des Dampfkessels ist, wie aus der Fig. 15 ersichtlich wird, die Feuerung angebracht. Der erstere wird von vier isolirenden Glasfüssen getragen und kann mittelst Rollen, welche am Fussgestelle des Apparates angebracht sind, nach jeder Richtung leicht bewegt werden. Auf der Oberseite des Dampfkessels nimmt man ein Gewichts-Sicherheitsventil wahr, durch welches man den Dampfdruck reguliren kann. Zum Versuche wählt man den letzteren gewöhnlich zwischen 4 und 6 Atmosphären. Ebenfalls auf der Oberseite neben dem erwähnten

Ventile befindlich ist ein Helm angebracht, auf dem ein Messingrohr befestigt ist, das durch einen Hahn ge-

Fig. 15.



schlossen oder geöffnet werden kann. Auf dieses Messingrohr können die verschiedenen Dampf-Ausströmungsröhren aufgeschraubt werden.

Der Apparat, welcher diese Dampfröhren enthält, ist in Fig. 16 separat abgebildet und zwar so, wie er sich einem von oben herabblickenden Beobachter darbietet. Auf den Hals des Dampfkessels wird nämlich ein ungefähr 24 cm langes, 5 cm weites gusseisernes Rohr aufgeschraubt. Der aus dem Dampfkessel entweichende Dampf gelangt zuerst in dieses Rohr, sodann in die eigentlichen Ausströmungsröhren, von denen in der Figur sechs ersichtlich gemacht sind. Dieselben sind in einem Messingkasten F eingeschlossen, der mit kaltem

Fig. 16.

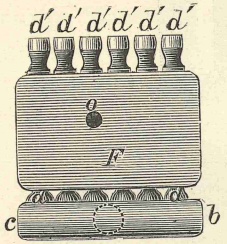
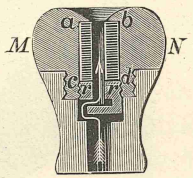


Fig. 17.



Wasser erfüllt ist, um eine partielle Condensation des Dampfes zu bewirken, wodurch die Wirkung wesentlich gefördert wird. Manchmal hat man auch das Wasser durch Werg ersetzt, welches durch Beträufeln mit kaltem Wasser fortwährend feucht erhalten wird. Der in dem Messinggehäuse entstandene Dampf wird durch ein auf der Oberseite desselben in o angebrachtes Rohr in den Schornstein abgeleitet.

Bemerkenswerth ist die Constructionsart der Ausflussöffnungen. An das Ende jeder Ausströmungsröhre wird eine Messinghülse MN (Fig. 17) angeschraubt, die

auf ihrer Innenseite mit Buchsbaumholz $abcd$ ausgefüttert ist, welches dem Dampfe eine ziemlich enge Oeffnung zum Ausströmen lässt. Dieser hohle Holzcylinder wird durch einen kurzen Messingcylinder rr, welcher in die Messinghülse MN eingeschraubt ist, festgehalten. Auch dieser Cylinder besitzt eine centrale Bohrung, vor welcher, wie aus der Figur zu ersehen ist, sich eine Messinglamelle befindet, welche der Dampf bei seinem Ausströmen umfliessen muss. Der Weg, den der Dampf einschlägt, ist in der Figur durch Pfeile angedeutet.

Das zur Seite des Kessels gezeichnete Rohr dient dazu, um den jeweiligen Stand des Wassers im ersteren anzugeben.

Hat der erhitzte Dampf die nöthige Spannkraft erreicht, so öffnet man den Hahn und bringt den Dampf zur Ausströmung. In einer kleinen Entfernung vom Kessel stösst der Dampf auf einen Metallkamm, der gewöhnlich mit einem isolirten Kugelconductor in leitende Verbindung gebracht wird. Die positive Elektricität des Dampfes influenzirt die $\pm$ Elektricität des Conductors, die negative wird angezogen und geht von den Spitzen in den Dampfstrom über, die positive Elektricität des Conductors sammelt sich in demselben. Will man die Elektricität des Kessels verwenden, so thut man gut, den mit Spitzen versehenen Conductor zur Erde abzuleiten.

Noch ist zu erwähnen, dass vor dem Versuche der Dampfkessel sorgfältig gereinigt werden muss, was am besten durch eine in denselben gegossene Pottaschelösung erreicht wird. Erst nach der Reinigung füllt man den Kessel mit destillirtem Wasser.

Es ist begreiflich, dass die Quantität der erzeugten Elektricität von der Grösse der durch die Flüssigkeitströpfchen geriebenen Oberfläche abhängig ist. Die Differenz der Potentiale ist von der Entfernung des Saugkammes von den Ausflussöffnungen der Röhren abhängig; diese Distanz darf nicht zu gross gewählt werden, denn sonst würde der Dampfstrom wenigstens nicht vollständig mehr den Kamm erreichen. Bedenkt man, dass der Dampfkessel und der mit den Kämmen leitend verbundene Conductor wegen ihrer sehr differirenden Grössen verschiedene elektrische Capacitäten besitzen, so wird man leicht erkennen, dass die absoluten Werthe der Potentiale auf den beiden leitenden Körpern beträchtlich von einander verschieden sein werden; das Potential des Kessels wird im Verhältnisse zu jenem des Saugkammes und des mit demselben leitend verbundenen Conductors klein sein. Zur Erzielung grosser Schlagweiten einerseits, zur Verminderung der starken Elektricitäts-Zerstreuungen andererseits würde es sich jedenfalls empfehlen, den Saugkamm mit einem isolirt aufgestellten Conductor zu verbinden, welch letzterer eine Capacität besitzt, die jener des Dampfkessels nahe kommt.

Mit einer Maschine von ungefähr 44 cm Durchmesser und 96 cm Länge, bei welcher sechs Ausströmungsöffnungen vorhanden waren, konnte eine Leydnerflaschen-Batterie von 36□′ Oberfläche in einer halben Minute geladen werden, was auf eine bedeutende Elektricität-Erzeugung hinweist.

Dass auch bei wachsendem Dampfdrucke die Spannung der erzeugten Elektricität zunimmt, wurde durch verschiedene Versuche nachgewiesen; so liess Seyffer den

Dampf, der in einem Papin'schen Topfe erzeugt wurde, aus einer ähnlichen Röhre, wie sie bei der Armstrong-Hydro-Elektrisirmaschine im Gebrauche waren, ausströmen und beobachtete die elektrische Spannung des Dampfes mittelst eines Henley'schen Quadranten-Elektrometers. Wurde der Dampfdruck von $^1/_2$ Atmosphäre bis auf $1^1/_2$ Atmosphäre gebracht, so entfernte sich das Pendel eines solchen Elektrometers vom Theilstriche 4 bis auf 38; bei dem Drucke von 3 Atmosphären betrug die Ablenkung des Elektrometers 90^0.

Bekanntlich misst man die Stärke eines elektrischen Stromes, welche die Menge der in der Zeiteinheit durch den Querschnitt eines Leiters durchgehenden Elektricität darstellt, nach der Ablenkung, welche eine Galvanometernadel durch den Strom erfährt. Schon im Jahre 1845 hat Matteuci in dieser Weise den von einer Hydro-Elektrisirmaschine erzeugten elektrischen Strom untersucht. Verbindet man nämlich den isolirten Kessel mit einem Galvanometer, dessen anderes Ende zur Erde abgeleitet ist, so entwickelt sich eine Elektricitätsströmung durch das Galvanometer, welche die Nadel desselben ablenkt. Auch dieser Forscher machte die Erfahrung, dass die Deviationen der Nadeln um so grösser wurden, je stärker der Druck des ausströmenden Dampfes war.

Man hat in den letzten Jahren die Elektricitäts-Erregungen, welche durch Vorbeiströmen eines Flüssigkeitsstromes vor einer festen Wand entstehen, studirt und ist dabei zu bemerkenswerthen Ergebnissen gelangt; doch hat man von diesen Elektricitäts-Erregungen zur Construction von Elektricitäts-Generatoren keine Anwendung gemacht. Aus diesem Grunde wollen wir dieser

Gruppe von Erscheinungen keine weitere Aufmerksamkeit schenken und zur Beschreibung jener Elektricitäts-Generatoren übergehen, bei denen durch Influenzwirkungen und Fortführung (Transport) der erzeugten Elektricitäts-Quantitäten letztere bis zu einer namhaften Stärke anwachsen können. In die Classe dieser Maschinen gehören viele Apparate, welche heutzutage im allgemeinen Gebrauche sind und sehr oft die Reibungs-Elektrisirmaschine ersetzen.

b) Elektrisirmaschinen, welche auf den Principien der elektrischen Influenz und des Transportes der Ladungen beruhen.

Elektrophor.

Die Erscheinungen der elektrischen Influenz wurden bereits von Otto v. Guerike, Hawksbee, Gray und anderen Physikern beobachtet, denselben jedoch nicht die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt. Erst Canton beschrieb diese Phänomene in einer Abhandlung, die im Jahre 1750 erschien, ausführlich, scheint aber immerhin noch nicht die Natur derselben erkannt zu haben.

Erst Wilke und Aepinus sind — wie aus ihren Schriften zu ersehen ist — der Erklärung der Influenzerscheinungen näher gerückt.

Nicht lange darauf (im Jahre 1762) beschrieb Wilke einen einfachen Apparat, der als der Vorläufer des jetzt überall noch in Verwendung stehenden Elektrophors angesehen werden kann, welch letzteres Instrument als Generator hochgespannter Elektricität zu betrachten ist und aus diesem Grunde unsere Aufmerksamkeit in

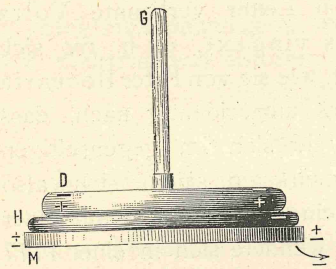
Anspruch nehmen wird. Das grösste Verdienst um die Entwicklung und die Theorie dieses Apparates kommt aber Alexander Volta zu, der im Jahre 1775 demselben jene Form ertheilte, die noch jetzt am meisten verbreitet ist. Volta war es auch, der jener von dem Turiner Pater Beccaria 1769 ausgesprochenen Ansicht entgegentrat, dass ein erregter Isolator bei der Verbindung mit einem Leiter seine Elektricität an diesen abgebe und bei der Trennung dieser beiden Körper wieder zurückerhalte. Durch Versuche mit einem auf eine geriebene Harzplatte gesetzten isolirten Leiter verbannte Volta für immer die »electricitas vindex«, d. h. die sich selbst herstellende Elektricität, wie sie von Pater Beccaria angenommen wurde, und wies unzweideutig nach, dass die Elektricitäten, so lange sie sich im gegenseitigen Wirkungskreise befinden, unwirksam seien, sich also bänden. Auch Wilke, der seine Experimente mit einer geladenen Glastafel anstellte, wendete sich in einer 1777 erschienenen Schrift entschieden gegen die Ansichten Beccaria's und führte die am Elektrophor zu beobachtenden Erscheinungen mit grosser Ausführlichkeit dem Leser vor.

Der Elektrophor (Fig. 18), welcher von Volta wegen des langen Verweilens der Elektricität in den Harzplatten »elettroforo perpetuo« genannt wurde, besteht im Allgemeinen aus einer Scheibe einer isolirenden Substanz H (dem sogenannten Kuchen), welche auf eine Metallplatte M oder in einen Metallteller gelegt wird. Auf den dielektrischen Kuchen kann eine leitende Platte D, die gewöhnlich den Namen Deckel des Elektrophors führt, aufgesetzt und auch leicht von letzterem abgehoben werden. Damit dies unter guter Isolirung er-

folge, wird der Deckel entweder von einer gläsernen Handhabe G oder von trockenen Seidenschnüren getragen.

Der Kuchen wird aus verschiedenen Stoffen erzeugt; entweder wendet man Schellack an, dem Wachs oder Terpentin in solcher Menge zugesetzt wird, dass die entstandene Masse nur einen geringen Grad von Sprödigkeit besitzt, oder man gebraucht eine Mischung aus Harz, Terpentin und weissem Pech.*) Manchmal hat man die Elektrophorkuchen auch aus Guttapercha und Hartgummi bereitet; erstere Substanz ist jedoch sehr veränderlich und verliert nur zu bald ihre elektrischen Eigenschaften. Hartkautschuk liefert mehr Elektricität als eine Harzscheibe, doch kommt es vor, dass sich diese Substanz wirft und unter der Einwirkung des Sauerstoffes der atmosphärischen Luft an ihrer Oberfläche chemische Veränderungen erleidet, welche dem elektrischen Zustand der Scheibe hinderlich sind. Sind diese Veränderungen mit der Elektrophorplatte geschehen, so kann sie wieder durch Waschen mit gewöhnlichem Wasser oder auch mit einer alkalischen Lösung brauchbar gemacht werden. Immerhin leisten Elektrophorkuchen aus Hartgummi die

Fig. 18.



*) Recht wirksam und dabei wenig spröde soll jene Mischung sein, welche Böttger empfiehlt und die aus 5 Gewichtstheilen Schellack, ebensovielen Gewichtstheilen Mastix, 2 Theilen venetianischen Terpentin und 1 Theil Marineleim, der aus Schellack, Kautschuck und Steinkohlentheer zusammengesetzt ist, besteht.

besten Dienste, weil die Oberfläche eines solchen Kuchens sehr eben ist, was für die Wirksamkeit des Elektrophors von Belang ist.

Der Deckel des Elektrophors ist eine am Rande abgerundete kreisförmige Scheibe aus Messing oder Zinn, oder aus Holz, das mit Stanniol überkleidet ist; seine untere Fläche, welche auf den Kuchen zu liegen kommt, muss vollkommen eben sein. Der Durchmesser des Deckels ist etwas kleiner, als jener des Elektrophorkuchens.

Um den Elektrophor in Wirksamkeit zu setzen, reibt oder schlägt man den Kuchen mit Pelzwerk; der letztere erhält auf diese Weise negative Elektricität, welche so stark sein kann, dass, wenn man dem Kuchen einen Fingerknöchel nähert, ein elektrischer Funke überspringt, dessen Knistern man vernimmt und der im Dunkeln leicht zu sehen ist. Setzt man den Deckel auf den Kuchen, so wird die positive Elektricität des ersteren in seinen unteren Theil gezogen und gebunden, die negative Elektricität des Deckels aber wird in dessen Oberseite abgestossen und kann durch Berührung des Deckels zur Erde abgeleitet werden. Hebt man nun den Deckel isolirt ab, so wird die bisher gebundene positive Elektricität frei und breitet sich in regulärer Weise über die Oberfläche des Deckels aus. Die in dem letzteren vorhandene Elektricitätsmenge besitzt eine ziemlich grosse Spannung und man kann leicht Funken von 4 cm Länge dem Deckel entlocken. Lichtenberg konnte aus dem Deckel seines Elektrophors, bei dem die leitende Scheibe 5 Fuss Durchmesser, der Kuchen 6 Fuss Durchmesser hatte, Funken bis zu 16 Zoll Länge ziehen.

Hat man die Scheibe einmal entladen, so genügt es, dieselbe wieder auf den dielektrischen Kuchen zu setzen, sie zu berühren und abzuheben, um eine neue positive Elektricitätsmenge auf ihr anzusammeln. Um des jedesmaligen Berührens des Elektrophordeckels enthoben zu sein, hat man verschiedene Vorrichtungen getroffen. So klebt man von der einen Seite der metallischen Bodenplatte oder des Tellers ausgehend einen schmalen Stanniolstreifen radial auf den Elektrophorkuchen, der bis unter den Rand des Deckels reicht; es wird dann die negative Elektricität des letzteren direct durch den Stanniolstreifen zur Erde abgeleitet. Philipps hat in der Mitte der Kuchenplatte einen Metallstift angebracht, der mit der Metallunterlage in leitender Verbindung ist und genau bis an die Oberfläche des Kuchens reicht. Es wird durch diese Vorrichtung ebenfalls die leitende Verbindung zwischen dem Deckel und dem Erdboden hergestellt.

Würde man den Deckel abheben, ohne ihn früher ableitend berührt zu haben, so würden die früher getrennten Elektricitäten sich wieder vereinigen und der Deckel würde unelektrisch erscheinen.

Wir haben in den bisherigen Erklärungen die Wirkungsweise der Form, auf welcher der Kuchen liegt, unberücksichtigt gelassen; die Rolle derselben ist aber — wie leicht zu ersehen ist — ebenfalls eine wichtige. Die negative Elektricität des Kuchens, welche durch Reiben erzeugt wurde, zieht nämlich die positive Elektricität der Unterlage an und stösst die negative ab. Diese letztere geht zur Erde, wenn die Form nicht isolirt ist. Wird nun der Deckel auf den Kuchen aufgesetzt,

so erfolgt die früher erörterte Vertheilung im ersteren, die gebundene positive Elektricität des Deckels bindet ihrerseits die negative des Kuchens und die positive Elektricität der Form, welche früher gebunden war, wird nun frei. Dadurch, dass wir den Deckel und die Form in leitende Verbindung mit einander bringen, entwickelt sich in dem Schliessungskreise ein Ausgleich der Elektricitäten, ein elektrischer Strom. Beim Abheben des Deckels erfolgt die Influenzwirkung der negativen Kuchenoberfläche auf die Metallform von neuem.

Würde die Form isolirt bleiben, so würde die positive Elektricität, welche beim Aufsetzen des Deckels nicht abfliessen kann, der Influenzwirkung, welche die geriebene Fläche des Dielektrikums auf den Deckel ausübt, hindernd in den Weg treten. Es ist deshalb wichtig, die Form abzuleiten.

Es ist leicht zu ersehen, dass die Form folgende wichtige Rolle spielt: Die positive Elektricität, mit welcher die Form durch Influenz geladen wird, zieht die negative Elektricität des Kuchens nach unten und bewirkt, dass diese Elektricität tiefer in die Masse des Elektrophorkuchens eindringt. Dadurch wird die Elektricitäts-Zerstreuung von der Oberfläche des Kuchens ganz bedeutend vermindert, und es ist dieser Umstand ein Grund, dass der einmal geriebene Elektrophor seine Elektricität lange Zeit erhält, eine Erscheinung, die unter dem Namen Tenacität des Kuchens bekannt ist. Uebrigens ist es nach mehrfachen Beobachtungen wahrscheinlich, dass die auf dem Elektrophorkuchen durch Reiben erzeugte negative Elektricität auch in der Masse des ersteren Influenzwirkungen hervorruft, dass eine dielektrische

Polarisation der Molecüle des Kuchens eintritt, welche auf die Oberfläche des letzteren eine Rückwirkung ausübt.

Würde man andererseits den Elektrophorkuchen nicht auf einen Metallteller, sondern etwa auf eine Glasplatte legen, so könnte man bei weitem nicht so starke Wirkungen erzielen, als es bei leitender Unterlage der Fall ist.

Der Grund dieser Erscheinung ist folgender: Durch Reiben des Elektrophorkuchens allein lässt sich auf letzterem nur eine ganz bestimmte und beschränkte freie Elektricitätsmenge entwickeln; alle weiter entwickelte Elektricität würde aber an das Reibzeug übergehen und sich mit der dort auch durch den Reibungsprocess erzeugten entgegengesetzten Elektricität neutralisiren. Bei Anwesenheit der Form wirkt dieselbe aber wie eine Condensatorplatte; die in ihr durch Influenz entstandene positive Elektricität bindet nämlich die negative freie Elektricität der Kuchenoberfläche und es kann von neuem durch Schlagen mit dem Pelzwerke negative Elektricität erregt werden. Man kann also behaupten, es werde durch die Benutzung der metallischen Unterlage die Grenze der Ladung weiter hinausgeschoben.

Zum Schlusse noch einige Worte über die Thatsache, dass die negative Elektricität des Elektrophorkuchens nicht direct auf den Deckel übergeht. Wenn man den letzteren auf den Kuchen aufsetzt und den Deckel ableitend berührt, so wird es allerdings immer geschehen, dass ein kleiner Bruchtheil der negativen Elektricität des Kuchens durch den Deckel zur Erde

abfliesst. Der grösste Theil der negativen Elektricität bleibt aber auf der Oberfläche des Kuchens, weil erstens die Berührung zwischen Kuchen und Deckel nicht gleichmässig über die ganze Oberfläche hergestellt ist und weil andererseits — wie bereits früher angegeben wurde — die negative Elektricität des Kuchens nicht nur an der Oberfläche des letzteren sitzt, sondern auch dessen Masse durchdringt.

Einer merkwürdigen Erscheinung, die man bei stark elektrisirten Kuchen mitunter beobachtete, müssen wir noch gedenken. Setzt man den Deckel, ohne ihn abzuleiten, auf einen solchen Kuchen und hebt ihn wieder ab, so findet man ihn — entgegen den oben gemachten Bemerkungen — positiv elektrisch. Der Grund dieses Phänomens kann ein zweifacher sein: Bei starker Ladung des Kuchens wird auch die von demselben abgestossene negative Elektricität des Deckels bedeutende Spannung besitzen und zum Theile in die Luft zerstreut werden, zum Theile durch die Stützen entweichen. Beim Abheben des Deckels wird derselbe daher im Ueberschusse positive Elektricität enthalten. Andererseits ist es immerhin möglich, dass das beim Reiben stark positiv elektrisch werdende Pelzzeug einen Theil der Elektricität an den Kuchen abgibt, welche dann beim Aufsetzen des Deckels in denselben übergeht und beim Abheben desselben erst entfernt wird.

Wir haben den Erscheinungen des Elektrophors aus dem Grunde besondere Aufmerksamkeit geschenkt, weil dieses Instrument als Princip für mehrere wichtige Apparate, die zur Erzeugung hochgespannter Elektricität dienen, gelten kann.

Man wird somit nach dem Vorhergehenden durch Aufsetzen, Berühren und Abheben des Deckels von einem geriebenen Elektrophorkuchen jedesmal eine bestimmte Elektricitätsmenge etwa auf einen Conductor überführen oder transportiren können, und es ist klar, dass die so erzeugte Elektricitätsmenge der Geschwindigkeit der aufeinanderfolgenden Operationen proportional sein wird. Man wäre so im Stande, auf einem Conductor Elektricität von einem sehr hohen Potentiale zu sammeln. Dieser Elektricitäts-Anhäufung würde nur eine Grenze durch die Elektricitätsverluste gesetzt werden, welche durch die umgebende Luft und die nicht gehörige Isolirung der Stützen bewirkt wird. Natürlich würde der Kuchen allmählich seine Elektricität verlieren und er müsste von neuem elektrisirt werden.

Misslich bleibt es aber unter den erwähnten Umständen, dass man den Deckel fortwährend berühren und abheben muss. Wir werden später Maschinen kennen lernen, in welchen dieses Problem in bequemer Weise gelöst wird.

Doppel-Elektrophor.

Der nachherigen Reibung des Elektrophorkuchens, von der wir gerade oben sprachen, kann man entgehen, wenn man zwei Elektrophore verwendet. Denken wir uns nämlich, der eine Kuchen *A* sei durch Reiben mit Pelz schwach negativ elektrisch geworden, der andere *B* aber sei in neutralem Zustande. Legt man den Deckel auf den Kuchen *A*, so wird der erstere nach Berührung und Abheben sich positiv elektrisch erweisen. Setzt man nun diesen Deckel mit

seinem Rande auf den zweiten Kuchen *B*, so wird die erzeugte Elektricität sich auf demselben absetzen. Man kann dann in ganz analoger Weise die Elektricität des zweiten Kuchens benützen, um den Deckel negativ zu elektrisiren, die negative Elektricität wieder auf dem ersten Kuchen *A* absetzen u. s. w. Man erkennt, dass man durch dieses allerdings auch höchst umständliche Verfahren nach und nach die beiden Kuchen sehr stark entgegengesetzt laden kann. Diese Methode, Elektricitätsmengen zu vervielfältigen oder zu multipliciren, war bereits Lichtenberg bekannt, der sie ausführlich (1778) beschreibt. Wieder finden wir sie in der »Collezione delle opere« (1816) von Volta erwähnt. Bei diesem Verfahren entfällt daher die oftmalige Elektrisirung des Kuchens durch Reiben. Das Princip, welches dem Doppel-Elektrophor von Volta zu Grunde liegt, werden wir in den meisten der jetzt zu beschreibenden Maschinen wiederfinden, bei welchen Elektricitätsmengen von bedeutender Spannung hervorgerufen werden, aber auch in Apparaten, welche weniger zu dem Behufe construirt wurden, bedeutende Elektricitätsmengen zu liefern, als vielmehr kleine Elektricitätsquantitäten so zu vergrössern, dass sie leichter beobachtet werden können, oder Ladungen constant zu erhalten u. s. w. Auch den letztgenannten Apparaten, welche in ihrer Mehrheit von dem genialsten Physiker der Gegenwart, Sir William Thomson, construirt wurden, wollen wir volle Aufmerksamkeit schenken.

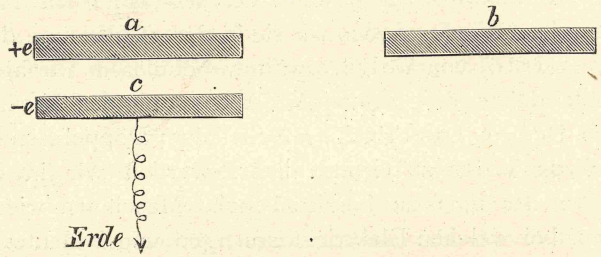
Duplicatoren der Elektricität.

Zur Vergrösserung der Elektricitätsmenge wandte man gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts mit

Vorliebe die sogenannten Duplicatoren an, die allerdings wenig befriedigende Resultate liefern. In einer historischen Darstellung des Entwicklungsganges der Influenzmaschinen müssen aber auch diese Apparate ihren Platz finden. Theoretisch werden sie immer von Interesse bleiben.

Bei diesen Apparaten spielen ausschliesslich leitende Körper eine Rolle. Der Grundgedanke dieser Apparate wird deutlich vor Augen treten, wenn wir die Ein-

Fig. 19*a*.



richtung und Wirkungsweise des Bennet'schen Duplicators vom Jahre 1787 zuerst beschreiben.

Duplicator von Bennet.

Von drei leitenden isolirten Platten *a*, *b*, *c* sind die beiden ersten fest, die dritte ist beweglich.

Denken wir uns, es werde z. B. (Fig. 19a) der ersten Scheibe *a* eine positive Elektricitätsmenge + *e* mitgetheilt, und die bewegliche Platte *c*, die mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht, werde der ersten Platte genähert. Durch Influenzwirkung erhält dann *c* eine negative Elektricitätsmenge, welche, wenn die Platten *a* und *c*

einander sehr nahe stehen, sich nicht sehr von — *e* unterscheiden wird. Nun hebt man (Fig. 19b) die Verbindung der Platte *c* mit der Erde auf, isolirt diese Scheibe und stellt sie der festen Scheibe *b* gegenüber, von der wir voraussetzen, dass sie zur Erde abgeleitet ist. Durch Influenz der negativen Elektricität von *c* auf *b* empfängt

Fig. 19*b*.

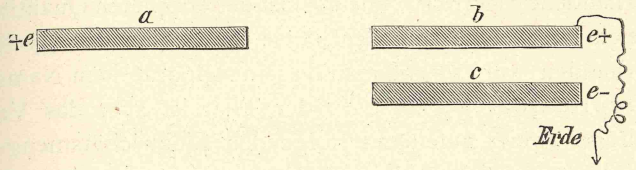
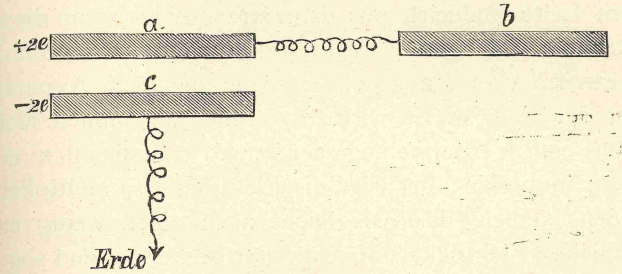


Fig. 19*c*.



letztere Platte eine Elektricitätsmenge, die unter den oben gemachten Voraussetzungen sich nicht viel von + *e* unterscheiden wird. Nun wird (Fig. 19c) *b* wieder isolirt, mit der anderen festen Platte *a* leitend verbunden, der letzteren die zur Erde abgeleitete Platte *c* wieder nahe gebracht. Es vereinigt sich dann fast die gesammte Elektricität der Platten *a* und *b*, die 2 *e* beträgt, auf der ersteren, und wenn man *c* zur Erde ableitet, so erhält diese Platte

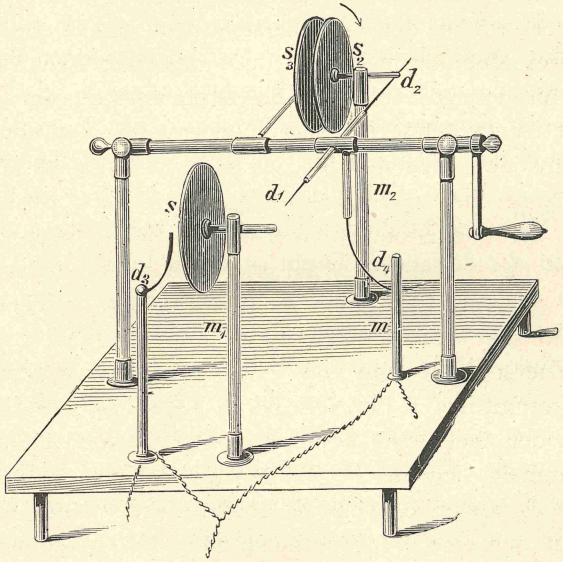
die Elektricitätsmenge $-2e$, also die doppelte Elektricitätsmenge wie vorhin. Wenn man a und b von einander trennt, so kann man die Operationen, die in der Figur schematisch angedeutet sind, wiederholen und auf a immer grösser werdende Elektricitätsmengen ansammeln, welche das Gesetz einer geometrischen Progression befolgen. Da die nach einem Operationencyclus auf der Platte a vorhandene Elektricitätsmenge fast der doppelten Quantität gleich ist, welche auf der Platte zu Beginn des Cyclus vorhanden war, so hat man diesem Apparate den Namen »Duplicator« gegeben. In der That ist aber das Verhältniss zweier aufeinanderfolgender Elektricitätsmengen der Platte a nicht 1 : 2, weil die Voraussetzung, dass eine Elektricitätsmenge $+e$ eine Elektricitätsmenge $-e$ auf einem Leiter inducirt, nur dann strenge gilt, wenn dieser Leiter die inducirende Elektricitätsmenge ganz umhüllt (Theorem von Faraday), was in unserem Apparate nicht der Fall ist. Es wird also strenge genommen nicht genau eine Verdoppelung der Elektricitätsmengen eintreten; immerhin aber wird die Elektricität so multiplicirt werden können, dass sie leicht auch einen wenig empfindlichen Elektricitäts-Messapparat beeinflusst und sogar Funken hervorrufen kann.

Die nachfolgenden Verbesserungen des Duplicators bestanden darin, dass die leitenden Verbindungen, welche man in einem Operationscyclus herzustellen hat, auf mechanischem Wege vollzogen wurden. Derartige Duplicatoren wurden von Cavallo, Bohnenberger, der im Jahre 1798 »unterschiedliche Elektricitäts-Verdoppler« beschrieb, Munk af Rosenschöld und anderen construirt.

Duplicator von Nicholson.

Ein grosser Fortschritt in der Construction der Duplicatoren vollzog sich, als Nicholson im Jahre 1788 seinen Revolving doubler herstellte, der im Principe

Fig. 20.



genau der Bennet'sche Duplicator ist, bei dem aber die Bewegungen drehende sind, so dass der Apparat um vieles leichter als seine Vorgänger zu handhaben ist.

Der Duplicator von Nicholson wird aus obenstehender Fig. 20 ersichtlich. Die beiden Platten S_1 und S_2 aus Metall sind vertical und gut isolirt, sie werden von den Metallstäben d_1 und d_2 getragen; die ebenfalls verticale

Metallplatte S_3 befindet sich auf einer gläsernen Axe mittelst eines Stieles befestigt und kann durch eine Kurbel um diese Axe gedreht werden. So oft die Scheibe bei ihrer Drehung der Scheibe S_1 gegenübersteht, kommt sie mittelst einer an ihr schleifenden Feder d_3, die mit einem Metallstabe zusammenhängt, mit dem Erdboden in leitende Verbindung. Wie man aus der Figur ersieht, befindet sich an der Drehungsaxe noch eine Metallhülse, die drei Metalldrähte trägt. Die beiden ersten Drähte sind gerade und senkrecht zur Drehungsaxe; der dritte Draht ist so gebogen, dass er bei jeder Rotation des Systems den ebenfalls mit der Erde verbundenen Metallstab m berührt. Der rückwärtige horizontale Draht berührt bei der Drehung alternirend die Metallstäbchen d_1 und d_2; der andere Draht ist etwas kürzer und kommt daher nur mit dem Stabe d_2 in Berührung, welcher der Rotationsaxe etwas näher als d_1 steht.

Zuerst theilt man der Scheibe S_1 etwas Elektricität mit; kommt nun S_3 der Scheibe S_1 gegenüber, so wird S_3 durch den federnden Draht d_3 zur Erde abgeleitet und es sammelt sich auf S_3 Influenz-Elektricität erster Art, also z. B. negative, wenn S_1 positive Elektricität erhielt. Erfolgt nun eine Weiterdrehung um 180°, so kommt S_3 gegenüber S_2 und es wird durch die beiden nun mit der Scheibe S_2 in metallischem Contacte stehenden Drähte diese Scheibe zur Erde abgeleitet und auf ihr durch S_3 Elektricität influenzirt, welche mit jener gleichnamig ist, die ursprünglich der Scheibe S_1 mitgetheilt wurde. Dreht man wieder um 180° weiter, so kommt die Platte S_3 S_1 gegenüber, es wird dann durch die Metalldrähte bewirkt, dass die beiden Platten S_1 und S_2 leitend verbunden sind.

Unter der condensirenden Wirkung von S_3 wird ein grosser Theil der in S_2 angesammelten Elektricität auf S_1 übergehen und die daselbst befindliche Elektricitätsmenge gesteigert. Nachdem man einige Zeit die Rotation unterhalten hatte, werden zwischen den Scheiben S_1 und S_3 Funken entstehen, welche auf eine ziemlich hohe Spannung der in denselben gesammelten Elektricitäten hinweisen. Der Apparat fungirt dann wie eine Elektrisirmaschine. Man findet die Operationen, die beim Bennetschen Duplicator vorgenommen werden müssen, bei dem Revolving doubler von Nicholson genau wieder.

Doppel-Condensator.

Um die Elektricität zu vervielfältigen, hat man

Fig. 21.

auch den Doppel-Condensator in Anwendung gebracht; wir wollen an dieser Stelle nur das Princip des Instrumentes angeben. Die Platten a und a_1 (Fig. 21) zweier Condensatoren sind isolirt, die beiden anderen Platten b und b_1 mit einander leitend verbunden. Laden wir a z. B. positiv elektrisch und verbinden b mit der Erde, so wird auf dieser Platte negative Elektricität sich ansammeln, die bei Entfernung von a und ableitender Berührung von a_1 beinahe vollständig auf b_1 überfliesst und auf a_1 eine nahezu gleiche Menge positiver Elektricität bindet. Man bringt nun a wieder b

gegenüber, vollführt genau dieselben Operationen und kann in der Weise die Elektricitätsmenge in a_1 vergrössern. Man kann nun auch a_1 als Elektricitätsquelle benützen und die Ladung von a verstärken. Dieser Doppel-Condensator wurde von Svanberg im Jahre 1847 angegeben. Auch bei ihm wird eine Multiplication elektrischer Ladungen durch Influenzwirkungen und durch Transport erreicht.

Das Princip des Duplicators wurde bei der Herstellung vieler Apparate in Anwendung gebracht; bei den meisten derselben hatte man aber keinen anderen Zweck vor Augen, als eine geringe Elektricitätsmenge soweit zu vervielfältigen, dass sie für elektrometrische Versuche geeignet ist, oder eine Ladung constant zu erhalten. Wir werden später einige Apparate dieser Art namhaft machen.

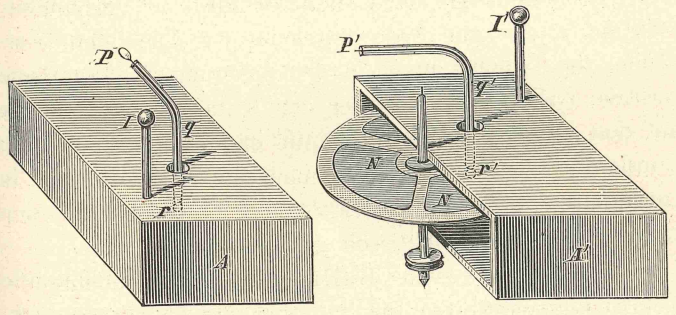
Elektricitäts-Generator von Belli.

Aber auch um bedeutende Elektricitätsquantitäten zu entwickeln, wurde der Grundgedanke der Duplicatoren fortgebildet, und wir erwähnen diesbezüglich den Elektricitäts-Generator von Belli (1831). Um eine verticale Axe kann eine Glasscheibe (Fig. 22) rasch gedreht werden. Dieselbe ist auf der Oberfläche mit drei Stanniolausschnitten beklebt, welche einander nirgends berühren; sie sind in der Figur durch N angedeutet. Man kann über die sich drehende Scheibe einen in zwei Theile A und A_1 getheilten Kasten schieben, der aus doppelten Eisenblechwänden derart verfertigt ist, dass diese Wände durch eine isolirende Harzmasse von einander getrennt sind. Von den Innenwänden dieses Kastens gehen die

beiden Metalldrähte I und I^1 aus, welche, damit sie nirgends die Aussenwände berühren, in Glasröhren eingekittet sind. Die durch kleine Oeffnungen r und r' im Deckel des Kastens gehenden ebenfalls isolirten Drähte tragen an ihrem unteren Ende Metallbürsten, mittelst deren sie auf der Scheibe schleifen.

Um den Apparat in Wirksamkeit zu setzen, ladet man die innere Wand der einen Kastenhälfte A nur schwach positiv elektrisch (mittelst des Metalldrahtes I).

Fig. 22.



Jene Belegungen der Scheibe, welche innerhalb dieses Kastentheiles sich befinden und durch den Bürstendraht pqr mit der Erde ableitend verbunden sind, werden durch Influenz negative Elektricität erhalten und bei der Drehung der Scheibe an die Metallbürste des Drahtes $p'\,q'\,r'$ abgeben. Ist der letztgenannte Draht jetzt mit der inneren Wand der Kastenhälfte A_1 verbunden, so wird dieselbe somit negativ elektrisch, und das in um so bedeutenderem Grade, je länger die Rotation der Scheibe unterhalten wird. Hat man auf diese Weise die innere Wand der Kastenhälfte A_1 genügend negativ elektrisch gemacht,

so verbindet man $p' q' r'$ mit der Erde, hingegen $p q r$ mit der Innenwand der ersten Kastenhälfte A, die wieder stärker positiv elektrisch wird. So kann man es dahin bringen, dass die Innenwände der beiden Kastentheile bedeutende Elektricitätsquantitäten besitzen, welche ihrerseits dazu dienen können, die Ladung eines Conductors mit hochgespannter negativer oder positiver Elektricität zu bewerkstelligen.

Wollen wir z. B. mittelst des Belli'schen Apparates einen Conductor positiv elektrisch laden, so werden die inneren Wände isolirt, der Conductor mit $p q r$ verbunden, während $p' q' r'$ zur Erde abgeleitet ist. Die beim Verweilen der Scheibe in A_1 in den Belegungen gebundene positive Elektricität wird bei der Rotation der Scheibe auf den Draht $p q r$ und den mit letzterem verbundenen Conductor übertragen. Hätte man die Verbindungen in entgegengesetzter Weise hergestellt, so würde man den Conductor negativ elektrisch geladen haben.

Die Maschine von Belli gibt schon bedeutende Elektricitätsquantitäten, sie hat aber die Unzukömmlichkeit, dass man fortwährend die Leitung umändern muss.

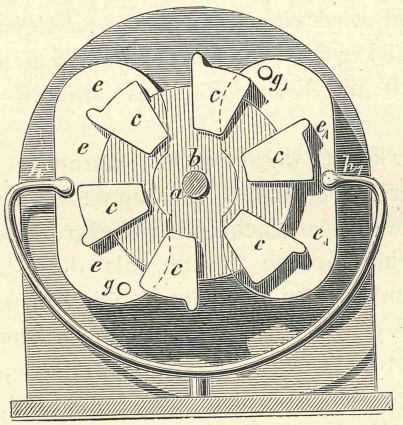
Eine andere in diese Gruppe gehörige Elektrisirmaschine, die schon viel bequemer zu handhaben ist, ist die von dem Engländer C. F. Varley construirte, die wir im Nachfolgenden beschreiben.

Elektrisirmaschine von Varley.

In der Fig. 23 nehmen wir eine Reihe metallischer, eigenthümlich geformter Leiter c wahr, welche auf einer Ebonitscheibe b festgemacht sind, die um eine Axe a in rasche Drehung versetzt werden kann. Sowohl die Scheibe

als auch die an ihr befindlichen Metall-Lamellen rotiren zwischen den beiden Metallbacken e und e_1, welche analog den Kastenhälften des Belli'schen Apparates fast die ganze Scheibe bedecken. Diese Metallbacken werden Inductoren genannt. Die beiden Metallknöpfe h und h_1, welche von den einzelnen Metall-Lamellen bei ihrer Drehung streifend berührt werden, sind mit der Erde leitend ver-

Fig. 23.



bunden. Andererseits können die Metall-Lamellen c mit den Backen durch die hervorragenden Stifte g und g_1 in leitende Verbindung treten, und es haben zu diesem Behufe die ersteren die eigenthümlichen hervorspringenden Metallzähne.

Man theilt nun der einen Backe e Elektricität, etwa positive, mit. Eine Metall-Lamelle, die gerade den mit der Erde verbundenen Knopf h berührt, erhält dann negative Elektricität, während die positive zur Erde abgeleitet

wird. Bei der Weiterdrehung der Scheiben gelangen die in der Weise negativ elektrischen Metallflügel an g_1 und geben ihre Elektricitätsmenge an die Metallbacke e_1 ab. Die Metallblätter werden also neutral und es wird in ihnen durch den nunmehr negativ elektrischen Inductor e_1 eine positive Elektricitätsmenge inducirt, nachdem sie den Knopf h_1 passirt haben. Die positive Ladung der Metall-Lamellen wird nun mittelst des Knopfes g an den ersten Inductor e abgegeben und dessen Elektricitätsmenge erhöht. Nun wird eine jede an h vorbeigehende Metall-Lamelle stärker negativ elektrisch geladen als früher und macht auch die Elektricität des zweiten Inductors e_1 stärker.

Man erkennt, dass bei fortwährender Drehung die Ladung der beiden Inductoren immer bedeutender wird, und es wird den anwachsenden Elektricitätsmengen nur insoferne eine Grenze gesetzt, als die Elektricität bei hoher Spannung von den Metallen in Form von Funken entweicht. Verbindet man die beiden Inductoren e und e_1 mit Conductoren, so wird auf denselben nach einigen Umdrehungen eine beträchtliche Potential-Differenz hergestellt werden können.

Manchmal sind die Knöpfe h und h_1 durch einen Metallbogen mit einander verbunden, und dies ist auch in der obigen Figur dargestellt. In diesem Falle ist die gerade an h streifende Metall-Lamelle und die ihr gegenüberstehende h_1 berührende Metall-Lamelle einen Augenblick leitend verbunden und es wird bei der ersteren eine negative, bei der letzteren eine positive Ladung entstehen. Bei diesem Arrangement muss man einen der Inductoren zur Erde ableiten.

Wenn wir nun die im Vorigen dargestellten Apparate in ihren Constructionen überblicken, so finden wir, dass sie aus theils feststehenden, theils beweglichen isolirten Leitern von verschiedenen Formen bestehen. Die feststehenden werden je nach dem Zwecke, dem sie dienen, Inductoren, Empfänger oder Regeneratoren, d. h. Ladungserhalter genannt. Die beweglichen führen durchwegs den Namen der Uebertrager. Die Inductoren umgeben zum grössten Theile die Uebertrager; letztere behalten, wenn sie aus den Inductoren austreten, noch immer geringe Elektricitätsmengen zurück und deshalb können die Maschinen vom theoretischen Standpunkte niemals den höchsten Grad der Vollkommenheit erreichen. Das letztere lässt sich niemals erzielen, weil, wenn die Inductoren die Uebertrager vollständig umschliessen würden, eine Bewegung der letzteren ausgeschlossen wäre.

Metallinductor von Töpler.

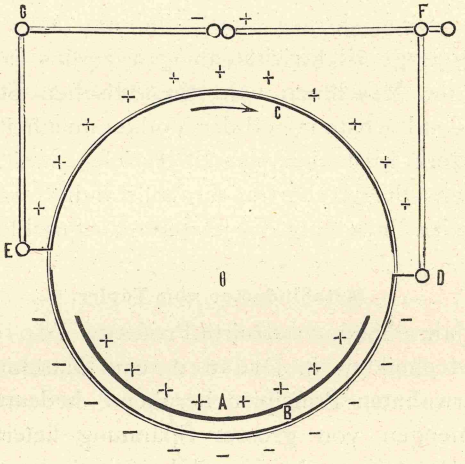
Im Jahre 1865 construirte Professor Töpler, derzeit am Polytechnikum in Dresden, eine Maschine, die auf früher erwähnten Principien beruhend, bedeutende Elektricitätsmengen von grosser Spannung lieferte. Bevor wir zur Darstellung der Einzelnheiten dieses Apparates übergehen, wollen wir das Princip derselben an der umstehenden Figur erörtern.

Stellen wir uns der Einfachheit halber vor, A (Fig. 24) sei eine cylindrisch gekrümmte Metallplatte oder eine ebenso gekrümmte Glasplatte, auf welcher ein Stanniolbeleg aufgeklebt ist. Diese Metallplatte befindet sich innerhalb eines Cylinders aus Glas, der ebenfalls mit zwei einander nicht berührenden Stanniolbelegen B und C

beklebt ist und sich im Sinne des angedeuteten Pfeiles um seine durch O gehende Axe drehen kann. D und E stellen Federn aus Metall dar, die auf den Belegungen B und C schleifen können und mit den Conductoren F und G in leitender Verbindung stehen.

Laden wir nun die Metallplatte A etwa positiv elektrisch und stellen wir uns vor, der Cylinder habe in

Fig. 24.



diesem Momente die aus der Figur ersichtliche Lage. Zunächst ist es klar, dass A eine Influenzwirkung auf B ausübt; die negative Elektricität von B wird angezogen, die positive Elektricität durch die Schleiffeder D nach F und in die damit verbundene Conductorkugel getrieben. Wir stellen uns vor, die beiden von F und G ausgehenden Conductoren seien von einander getrennt. Die durch F in die Kugel abgestossene Elektricität wirkt nun wieder

vertheilend auf das Leitersystem $G\,E\,C$, die negative Elektricität wird in die F gegenüberstehende Kugel angezogen, die abgestossene Elektricität macht den Stanniolbeleg C positiv elektrisch.

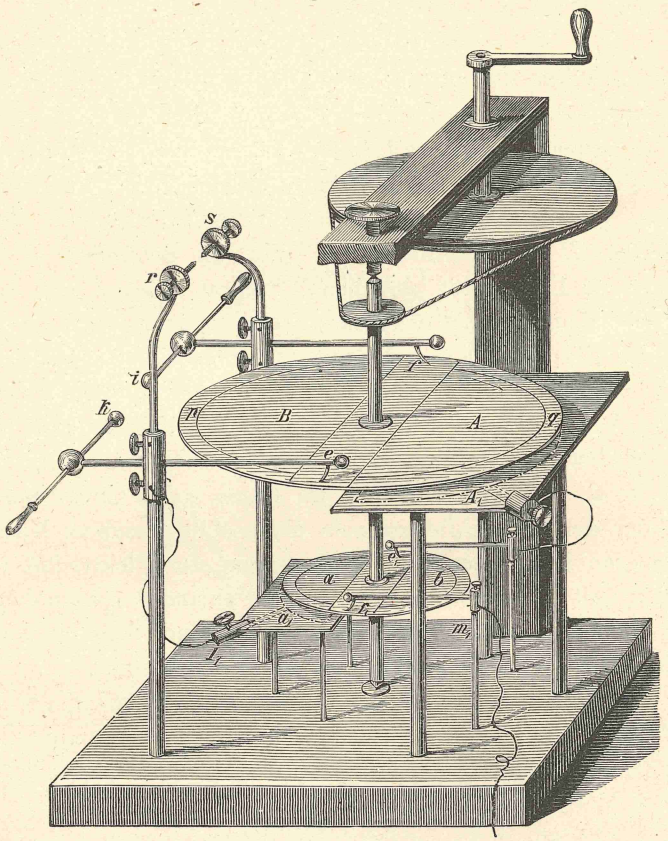
Bei fortgesetzter Drehung im Sinne des Pfeiles werden nun zunächst die Belegungen B und C von ihren Schleiffedern D und E entfernt und behalten ihre negative respective positive Ladung, während der Conductor F positiv, der Conductor G negativ elektrisch ist. Im Laufe der ferneren Drehung gelangt C in Contact mit der Feder D des Conductors F, gibt an denselben seine positive Elektricität ab, ebenso kommt B an E und ertheilt dem G eine neue elektrische Ladung vom negativen Zeichen. Kommt das nun seiner Elektricität zum grössten Theile beraubte C vor A, so wiederholen sich die Vorgänge; es wird die positive Elektricität nach F getrieben, der Beleg C selbst aber jetzt negativ elektrisch u. s. w. Es ändert somit im Laufe jeder Umdrehung jeder der beiden Belege sein elektrisches Zeichen. Nach einigen Rotationen ist die Spannung der Elektricität in den mit F und G verbundenen, einander gegenüberstehenden Kugelconductoren so bedeutend, dass ein lebhafter Funkenstrom zwischen denselben auftritt.

Es stellen somit in der Töpler'schen Maschine, deren Princip nun angegeben wurde, die beiden Belegungen die Elektricitätsübertrager vor, während die Metallplatte oder der Metallbeleg A als Inductor fungirt.

Die auf diese theoretischen Betrachtungen hin construirte Maschine hat folgende, durch Fig. 25 dargestellte Einrichtung: Eine um eine verticale Axe drehbare Glasscheibe (die Drehung wird mittelst eines Schnurlaufes

vollzogen und kann von solcher Geschwindigkeit sein, dass ungefähr 18 Rotationen in der Minute vollzogen

Fig. 25.



werden) trägt auf der unteren Seite zwei grosse Stanniolsegmente A, B, auf der oberen Seite zwei diesen entsprechende, ungefähr 6 cm breite, nahezu halbkreisförmige

Stanniolstreifen q und p, welche mit den correspondirenden Stanniolsegmenten leitend verbunden sind. Zwei entgegengesetzt gekrümmte Metallfedern e und f schleifen derart auf der Scheibe, dass immer, wenn die eine Feder auf p zu stehen kommt, die andere q berührt. Sie sind an Metallstäben angebracht, die in Kugeln ausgehen, welche von anderen, die eigentlichen Conductoren i und k tragenden Metallstäben durchsetzt werden. Mittelst Ebonithandgriffen lassen sich i und k nähern oder von einander entfernen. Wir bemerken noch zwei Spitzen r und s, die mit den von e und f kommenden Metallstäben leitend verbunden sind; ihren Zweck werden wir bald kennen lernen.

Unter der Glasscheibe, und zwar ziemlich nahe derselben, befindet sich eine isolirte Metallplatte A', welche der Inductor des Apparates ist. Die Platte hat ungefähr dieselben Dimensionen, wie eines der Stanniolsegmente.

Vergleicht man den Apparat mit der früheren schematischen Figur, so erkennt man, dass den Theilen B, C und A der letzteren die Theile Aq, Bp und A' des Apparates entsprechen.

Theilen wir der Inductorplatte nur geringe Elektricitätsmengen mit, z. B. in der Weise, dass wir den positiven Pol einer Zamboni'schen Säule an dieselbe halten, so wird, wenn wir einen Moment ins Auge fassen, der einer ein wenig früheren Position der Glasscheibe entspricht, Aq negativ, i hingegen positiv elektrisch. Die negative Elektricität der erwähnten Segmente wird nun auf ek übertragen und k somit negativ elektrisch. Das zweite Segment B kommt nun an die Stelle des ersten, und der Process dauert so lange, als die Drehung anhält.

Ist die Spannung der Elektricitäten bei fortgesetzter Drehung zu einem bestimmten Werthe angewachsen, so entstehen im Apparate selbst elektrische Ausgleichungen, insbesondere bemerkt man einen feinen Funkenstrom zwischen den Stanniolbelegungen und der Inductorplatte. Dies tritt insbesondere dann ein, wenn die beiden Kugeln i und k sehr weit von einander entfernt sind, die Elektricitäten derselben sich daher nur sehr schwer auf der zwischen ihnen gelegenen Luftstrecke ausgleichen können. Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, hat man einerseits als Inductor eine auf der Oberseite mit Schellack überzogene, auf der Unterseite mit Stanniol belegte Glasplatte genommen, andererseits hat man die Conductoren mit den Stiften r und s verbunden, durch welche bei zu grosser Potentialdifferenz der Ausgleich der Elektricitäten sich vollzieht. Beim Ruhen der Scheibe nimmt die elektrische Dichte des Inductors sehr schnell ab und nach kurzer Zeit kommt die Maschine ganz ausser Wirksamkeit.

Zur Constanthaltung des Potentiales der Inductorplatte bediente sich Töpler einer zweiten, ganz ähnlich construirten Maschine, welche in unserer Figur unter der ersten dargestellt ist. Um dieselbe verticale Drehungsaxe kann sich nämlich noch eine kleinere Scheibe drehen, bei welcher die den Theilen der oberen Scheibe entsprechenden Theile mit kleinen Buchstaben versehen sind. Der Inductor der ersten Maschine ist mit e_1 leitend verbunden, der Inductor der zweiten Maschine mit k. Der Conductor i der ersten Maschine ist isolirt, die Feder f_1 hingegen zur Erde abgeleitet.

Es ist nach dem früher Gesagten begreiflich, dass, wenn der Inductor A_1 positiv geladen wurde, k und somit

der Inductor a_1 negativ elektrisch werden; dann wird aber auch a positiv elektrisch werden und diese positive Elektricitätsmenge durch die Feder e_1 dem ersten Inductor mitgetheilt werden, so dass das Potential des letzteren constant erhalten wird. Die zweite Maschine wirkt somit als Elektricitätserhalter oder Regenerator.

Professor Töpler hat an dieser von ihm construirten Maschine gezeigt, dass man dem Inductor A_1 keinen elektrisirten Körper nahebringen muss, um die Maschine in Gang zu setzen. Eine Reihe von Umdrehungen genügt, um die Maschine wirken zu sehen, ohne dass man früher dem Conductor auch nur eine geringe Elektricitätsmenge mitgetheilt hat. Diese Selbsterregung der Maschine kann verschiedene Ursachen haben; es kann die Reibung an der Luft oder die Reibung der Schleiffedern Elektricität erregen, welche dann durch das Spiel des Apparates vervielfacht wird. Wie dem immer sei, so viel ist erwiesen, dass die eben beschriebene Töpler'sche Maschine zur Gruppe der selbsterregenden gezählt werden kann.

Die vorstehende Maschine, ebenso alle anderen mit metallischen Uebertragern, wie z. B. die früher beschriebene Maschine von Varley, haben gegenüber den später zu beschreibenden Maschinen, in denen Nichtleiter in Rotation versetzt werden, den Vortheil, dass sie gegen Lufteinflüsse weniger empfindlich sind, als letztere, andererseits haben sie aber gegen diese den Nachtheil, dass sie Selbstentladungen zeigen, eine ziemlich begrenzte Schlagweite besitzen und discontinuirliche Ströme liefern.

Wir werden im weiteren Verlaufe unserer Darstellung der Influenz-Elektrisirmaschinen noch einmal auf

die von Töpler seit 1865 erdachten Constructionen zurückkommen und Apparate angeben, bei denen schon schwache Ladungen genügen, um die Maschinen zu den stärksten Leistungen zu veranlassen.

Bevor wir zu den von Holtz construirten Maschinen übergehen, deren Erfindung in dieselbe Zeit, wie jene der Töpler'schen fällt, wollen wir einiger einfacheren Apparate gedenken, bei denen die Elektricitäts-Uebertragung durch eine isolirende Scheibe vollzogen wird.

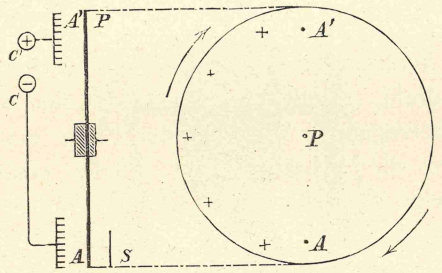
Maschine von Bertsch.

Wohl zu den einfachsten Elektrisirmaschinen dieser Art gehört die in Fig. 26 dargestellte. Man hat diesen Apparat mit Recht als einen Elektrophor mit rotirendem Deckel bezeichnet. Im Wesentlichen besteht er aus einer Scheibe aus Hartgummi P, welche sich ohne Reibung zwischen einem Systeme von zwei Metallkämmen A und A' einerseits und einem Ebonitsector S, der sich gegenüber dem unteren Theile der Scheibe befindet, drehen kann. Der letztere dient als Inductor.

Will man die Maschine in Wirksamkeit bringen, so reibt man den Inductor S mit einem Pelzwerke; er erhält negative Elektricität. Die Influenzwirkung des geriebenen Hartgummistückes auf die bewegliche Isolatorscheibe ist gegen jene zu vernachlässigen, welche auf den gegenüberstehenden Metallkamm ausgeübt wird. Im letzteren erfolgt eine Trennung der beiden elektrischen Fluida; positive Elektricität strömt vom Kamme gegen den unteren Theil der beweglichen Scheibe, die negative Elektricität wird in das Ende eines Conductors C' abgestossen, welcher mit dem Metallkamme A in leitender

Verbindung steht. Bei der Rotation der Scheibe kommt die auf dem unteren Theile derselben befindliche positive Elektricitätsmenge dem Kamme A' gegenüber, zieht aus demselben die negative Elektricität und stösst die positive Elektricität in den Conductor C'. Die erstere Elektricität neutralisirt die Elektricität der rotirenden Scheibe, so dass letztere beim Verlassen des Kammes A' ungeladen ist. Sind die beiden Elektroden C und C' auf ein genügend hohes Potential geladen, so erfolgt zwischen denselben ein continuirlicher Funkenstrom.

Fig. 26.



Die von Bertsch construirte Maschine hatte eine Scheibe von 50 cm Durchmesser und lieferte Funken von 10—15 cm Länge; in Geissler'schen Röhren von mehr als 2 m Länge rief sie die bekannten brillanten Lichterscheinungen hervor.

Riche hat eine ähnliche Maschine wie Bertsch construirt, als isolirendes Material wandte er aber trockenes Papier an.

Misslich ist an der Maschine von Bertsch der Umstand, dass sie bald zu wirken aufhört, was dann eintritt, wenn die Elektricität des Inductors sich in der

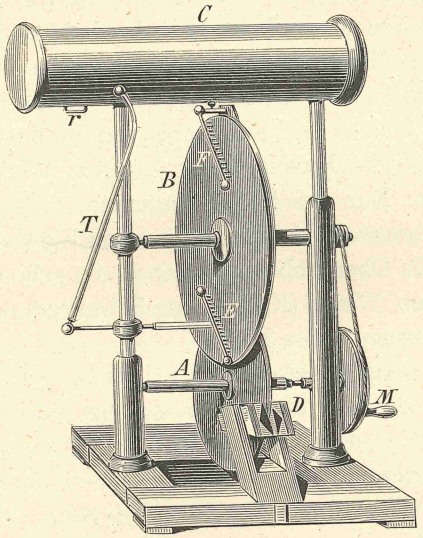
Luft verliert; dann nutzt eine weitere Drehung der beweglichen Scheibe nichts mehr. Die Verbindung einer Reibungs-Elektrisirmaschine mit dieser Maschine hilft dieser Unzukömmlichkeit ab, und dies wurde in der nun folgenden Maschine ausgeführt.

Maschine von Carré.

Diese Maschine besteht im Wesentlichen aus zwei Scheiben, welche sich im entgegengesetzten Sinne drehen können. Die grössere von diesen Scheiben *B* (Fig. 27) ist aus Hartgummi, die kleinere *A* aus Glas verfertigt. Letztere wird bei ihrer Rotation zwischen den beiden Reibkissen *D* gerieben und dient als Inductor. Während diese Scheibe sich verhältnissmässig langsam dreht, erhält die Scheibe *B* eine sehr rasche Rotationsbewegung. Wie aus der Figur ersichtlich ist, überdecken die Scheiben zum Theile einander. Der Ebonitscheibe *B* stehen zwei Kämme *E* und *F* gegenüber, von denen der zweite mit dem cylindrischen Metallconductor *C*, der andere mit dem in eine Kugel endigenden Stabe *T* in Verbindung steht. Das Spiel der Maschine ist leicht zu verstehen. Die positive Elektricität der geriebenen Glasscheibe wirkt durch die Scheibe *B* influenzirend auf den Saugkamm *E*, zieht aus demselben negative Elektricität, welche sich auf der Scheibe *B* absetzt; in Folge dessen wird die Conductorkugel positiv elektrisch. Die negative Elektricität der dielektrischen Scheibe gelangt gegen den Saugkamm *F* und zieht aus demselben positive Elektricität, welche die erstere neutralisirt; der Conductor *C* selbst wird negativ elektrisch.

Bringt man die Kugel dem Conductor *C* genügend nahe, so springen zwischen diesen Leitern in continuirlicher Weise Funken über. Man hat mit einer Carré'schen Maschine, der man öfter den Namen »dielektrische Maschine« ertheilt hat, Funken von 15 cm erreicht, wenn die Durchmesser der beiden Scheiben *A*

Fig. 27.



und *B* respective 38 und 49 cm wären. Es lässt sich die Energie der elektrischen Funken beträchtlich steigern, wenn man die beiden Conductoren mit den Belegungen einer Leydnerflasche verbindet, welche man an dem in der Figur mit *r* bezeichneten Ringe mittelst eines von der inneren Belegung der Flasche ausgehenden Häkchens aufhängen kann. Der untere Kamm der Maschine kann

entweder isolirt oder durch ein Kettchen in leitende Verbindung mit der Erde gebracht werden.

Zu bemerken ist noch, dass Carré bedeutendere Wirkungen erzielte, als er den zweiten Saugkamm *F* einer fixen Ebonitplatte (in der Figur hinter der Scheibe befindlich) gegenüberstellte. Diese war mit Belegungen versehen, die in Spitzen endigen; es dient dieses Ebonitplättchen als zweiter Inductor, und wir werden die Wirkungsweise dieses Beleges in den bald zu beschreibenden Holtz'schen Maschinen kennen lernen.

Die Maschine von Carré liefert gute Resultate, und es genügt, eine kleine Anzahl von Drehungen vorzunehmen, um die Maschine zur grössten Wirksamkeit zu veranlassen. Nur das ist zu bemerken, dass nach einiger Zeit die Ebonitscheibe ihre isolirenden Eigenschaften verliert und die Oberfläche derselben in der schon wiederholt angegebenen Weise (Reiben von Schmirgelpapier u. dgl.) erneuert werden muss.

Vor einiger Zeit hat Le Dantec eine Maschine construirt, die als eine Verbesserung der Carré'schen Maschine zu betrachten ist und bequem gestattet, die Wirkungsweise verschiedener Maschinen (z. B. der von Guerike, Ramsden, Nairne, Bertsch und Carré) zu demonstriren.

Maschine von Holtz.

Zu derselben Zeit, als Töpler seine Metall-Inductoren construirte, fertigte W. Holtz unabhängig von den diesbezüglichen Forschungen des erstgenannten Physikers eine Elektrisirmaschine an, welche von ihm selbst und

von anderen Gelehrten im Laufe von kaum zwei Decennien vielfach modificirt und vervollkommnet wurde.

Es wurde im April 1865 die Holtz'sche Influenzmaschine der Berliner Akademie gezeigt.

Die Holtz'schen Maschinen sind gewöhnlich unter dem Namen Influenzmaschinen bekannt; doch wurden sie je nach der Auffassung ihrer Wirkungsweise auch Elektromaschinen oder Elektrophor-Maschinen genannt.

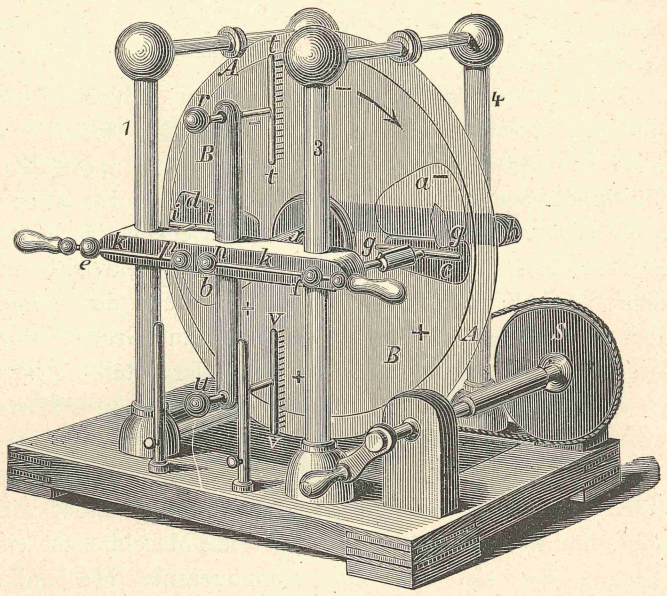
Wenn man die Wirkungsweise der zahlreich construirten Maschinen von Holtz überblickt, kann man wohl behaupten, dass ihnen das von Volta angegebene Multiplications-Verfahren, nach welchem man den Kuchen eines Elektrophors reibt, mit dem Deckel des ersten Elektrophors den Kuchen eines zweiten elektrisirt, mit dem Deckel des letzteren den Kuchen des ersten Elektrophors stärker ladet u. s. w., zu Grunde liegt. Allerdings ist dieses oben ausführlich dargestellte Princip in der Holtz'schen Maschine in einer sehr modificirten Form zur Anwendung gekommen.

Wir gehen nun zur Beschreibung einer Holtz'schen Influenzmaschine, wie sie gewöhnlich angewendet wird, über. Die in der Figur 28 dargestellte Maschine ist eine solche, wie sie von dem Hannoveraner Mechaniker Borchardt construirt wird.

Auf einer hölzernen Basis befinden sich vier verticale Glassäulen, die durch die Ziffern 1, 2, 3, 4 gekennzeichnet sind; die beiden Glassäulen 1 und 2, ebenso 3 und 4 sind oben und unten durch horizontale Glasstäbe verbunden. In der Mitte eines jeden dieser Glasstäbe befindet sich eine am Rande eingefurchte Rolle

aus Ebonit, die mittelst eines Schraubengewindes verstellbar ist. Von diesen Rollen wird eine Glasscheibe *A* getragen und in verticaler Stellung erhalten; in dieser Scheibe befinden sich diametral gegenüber zwei Ausschnitte *a* und *b*. Durch die Mitte dieser Scheibe, an

Fig. 28.



deren Stelle eine grosse centrale Oeffnung sich befindet, geht die Rotationsaxe einer zweiten der ersten sehr nahe befindlichen Scheibe aus dünnem Spiegelglase, die ebenfalls wie die erstgenannte Scheibe mit Schellackfirniss überzogen ist. Es ist der Durchmesser dieser Scheibe um etwas kleiner, als jener der feststehenden Scheibe,

und erstere kann in ihrer Ebene in schnelle Umdrehung (etwa fünf- bis zehnmal in der Secunde) versetzt werden.

Auf der feststehenden Scheibe und zwar auf der der drehbaren Scheibe abgekehrten Hinterseite befinden sich die Inductoren, welche Papierbelegungen darstellen. Dieselben stehen in Verbindung mit schmalen ihnen gegenüber auf die Vorderseite der Scheibe geklebten Papierstreifen, welche in zugespitzte Streifen von Kartenpapier ausgehen, die in die betreffenden Ausschnitte hineinragen. Gewöhnlich überzieht man auch die Belegungen und die Spitzen mit Schellackfirniss. Wir werden später die Rolle der Belegungen als Inductoren kennen lernen.

Die Drehungsaxe der Scheibe ist auch aus Ebonit verfertigt und an den beiden Enden mit Stahlzapfen versehen, von denen der vordere in einem Lager läuft, welches an dem ebenfalls aus Ebonit hergestellten Querbalken *k*, der zwischen den Glassäulen 1 und 3 sich befindet, angebracht ist; das Lager für den hinteren Stahlzapfen ist in einem dem ersten parallelen, die Glasstäbe 2 und 4 verbindenden Querbalken.

Die bewegliche Scheibe *B* befindet sich an ihrer Axe zwischen zwei Hartgummischeiben, von welcher die eine mit der Rotationsaxe zusammenhängt, während die andere abgeschraubt werden kann. Die Drehung der Scheibe kann mittelst einer Kurbel vollzogen werden; durch einen einfachen Mechanismus kann bewirkt werden, dass bei einmaliger Umdrehung der Kurbel die bewegliche Scheibe mehrere Rotationen vollführt.

Vor der beweglichen Scheibe befinden sich zwei isolirte Conductoren, welche in Kämme *g g* und *i i* endigen,

die gegen die Papierbelegungen gekehrt sind; die beiden Conductorstäbe durchsetzen das Querstück *k k* und endigen in Kugeln *e* und *f*, welche von anderen der Scheibe parallelen Stäben durchsetzt werden, die in die eigentlichen Conductorkugeln *n* und *p* ausgehen. Letztere können mittelst Ebonithandhaben nach Wunsch einander genähert oder von einander entfernt werden.

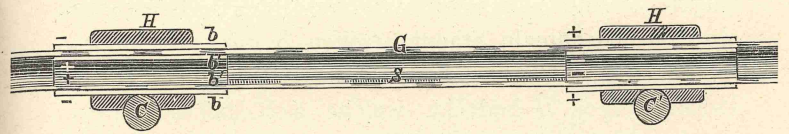
In der in der Fig. 28 dargestellten Holtz'schen Influenzmaschine nehmen wir wahr, dass zwischen der Kugel *f* und dem Kamme *g g* ein isolirendes Stück eingesetzt ist und dass die leitende Verbindung zwischen diesen beiden Theilen durch einen ebenfalls aus der Figur ersichtlichen Metalldraht hergestellt wird.

Es kann dieser verbindende Metallbogen unter Umständen, auf die wir später zu sprechen kommen, entfernt werden. Wir bemerken noch zwei Saugkämme *t t* und *r r*, welche gegen die früher genannten um 90^0 Winkelentfernung abstehen und mittelst Metallträger in eine Ebonitstange eingelassen sind, welche *k k* durchsetzt. Den Zweck dieser sogenannten überzähligen Conductoren wird der Leser nach der Darstellung der Theorie dieser Maschine erkennen.

Um die Maschine zu erregen, bringen wir zunächst die beiden Conductoren *n* und *p* mittelst der isolirenden Handhaben zur Berührung. Man reibt eine dünne Ebonitplatte mit einem Pelzstücke, wodurch dasselbe negativ elektrisch wird, und hält sie rückwärts an die Papierbelegung *c*; hierbei dreht man die bewegliche Scheibe rasch in einer Richtung, welche jener der Spitzen der Papierbelegungen entgegengesetzt ist, die also durch die in Fig. 28 ersichtlichen Pfeile angegeben wird.

Sind die Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft günstig, so vernimmt man alsbald ein eigenthümliches Brausen, welches das Functioniren des Apparates anzeigt. Man entfernt die geriebene Ebonitplatte und kann in continuirlicher Weise Elektricität erzeugen, wenn man die Drehung fortsetzt. Man kann einen continuirlichen Funkenstrom zwischen den Elektroden *p* und *n*, die man von einander entfernt (allerdings nicht zu weit), erzeugen. Diese Funken sind von bläulich weisser Farbe und zeigen vielfache Knickungen. Bei zu grosser Entfernung der Elektroden hört die Maschine bald zu wirken auf.

Fig. 29.



Bringt man die nicht zu weit von einander entfernten Kugeln *p* und *n* einzeln in leitende Verbindung mit den Armaturen einer Leydnerflasche, so wird der früher fast continuirliche Funkenstrom aufhören und es springen in grösseren Zeitintervallen zwischen den Conductoren Funken über, die sehr energisch sind und ziemlich heftig knattern; ihre Farbe ist weisser als jene der früher erwähnten Funkenströme. Die Energie dieser Funken hängt wesentlich von der Capacität der Batterie ab.

Den meisten Influenzmaschinen, die vom Systeme Holtz sind, sind zwei kleine Leydnerflaschen beigegeben, die auf dem Fussgestelle der Maschine vor der beweglichen Scheibe aufgestellt sind. Die äusseren Belegungen

dieser Leydnerflaschen werden miteinander verbunden, die inneren Belegungen sind im metallischen Contacte mit den Conductorkugeln. Es wirken daher solche Leydnerflaschen nach Art von Cascaden-Batterien, und es ist bei Anwendung derselben möglich, längere Funken zu erhalten, und andererseits das allzuleichte Aufhören der Wirkung der Maschine zu verhindern.

Recht sinnreich und einfach ist eine diesbezügliche, von Holtz ersonnene Condensations-Vorrichtung. Er verwendet (Fig. 29) eine an beiden Enden offene Glasröhre G, welche an beiden Seiten nahe an ihren Enden sowohl auf der Innen-, als auch auf der Aussenseite mit Stanniolringen $b\,b$ und $b, b,$ belegt ist. Die inneren Belegungen sind durch schmale Stanniolstreifen S mit einander verbunden. Ein Theil der äusseren Belegungen ist mit Holzfassungen H bedeckt, welche sich auf die Zuleiter an den Elektroden $C, C,$ auflegen.

Theorie der Wirkungsweise der Holtz'schen Influenzmaschine.

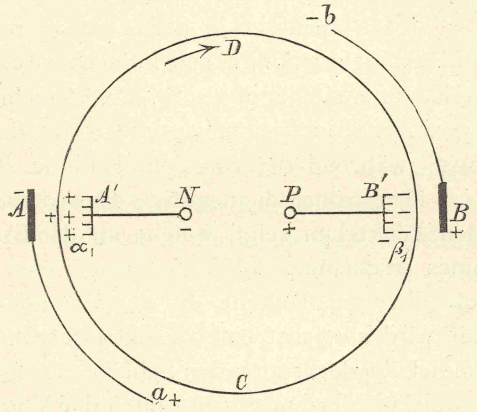
Im Vorigen wurde angegeben, wie eine solche Maschine in Wirksamkeit versetzt werden kann; wir wollen im Nachfolgenden die Rolle, welche die einzelnen Theile der Maschine während des Functionirens derselben spielen, näher untersuchen.

Wir denken uns, um die Erläuterungen zu vereinfachen, die drehbare Scheibe durch eine cylindrische Glasröhre $C\,D$ von grossem Durchmesser (Fig. 30) ersetzt, der aussen diametral gegenüber die Papierbelegungen A und B sich befinden, welche in die Spitzen a und b ausgehen. Im Innern des beweglichen Glascylinders denken wir uns die beiden Metallarme $A^1\,N$ und $B^1\,P$

befindlich, welche einerseits in die Conductorkugeln N und P, andererseits in die Saugkämme A^1 und B^1 endigen. Kurz gesagt, wir stellen uns vor, dass wir statt einer Holtz'schen Scheibenmaschine eine Cylindermaschine nach demselben System betrachten würden.*)

Wir setzen nun voraus, die beiden Conductoren P und N seien in Contact, und wir theilen der Belegung A

Fig. 30.



durch eine mit einem Felle geriebene Ebonitplatte negative Elektricität mit. Diese Elektricitätsmenge wird sowohl eine dielektrische Polarisation in dem drehbaren Glas-

*) Mascart erwähnt in seinem Lehrbuche der statischen Elektricität, dass eine solche Holtz'sche Cylinder-Influenzmaschine in der That von Saint-Loupe construirt wurde, welche befriedigende Resultate gab. Uebrigens hat bereits Holtz selbst eine Cylinder-Influenzmaschine construirt, bei welcher der Cylinder aus Hartgummi verfertigt war. Die Anwendung des Ebonits zur Construction der Scheiben der Maschine wurde auch von Mechaniker Schlösser

cylinder veranlassen, als auch influenzirend auf den Kamm A^1 und das damit verbundene Leitersystem wirken. Es wird aus diesem Kamme positive Elektricität auf die Vorderseite der rotirenden Scheibe, d. i. auf jene, welche dem Kamme zugekehrt ist, strömen, und diese übergetretene Elektricität befördert noch die dielektrische Polarisation der Glasmoleküle. Die abgestossene negative Elektricität wird bis B_1 getrieben und tritt — wenigstens theilweise — auf die Vorderseite der rotirenden Scheibe bei β_1 über. Man bemerkt in der That an der in verdunkeltem Raume functionirenden Iufluenzmaschine, dass von dem Kamme A^1 (in der Fig. 28 *g g*) eine Menge Büschel positiver Elektricität auf die rotirende Scheibe überströmen, während die von dem Kamme B^1 (in der Fig. 28 *i i*) überströmende negative Elektricität sich in leuchtenden Pünktchen zeigt, welche an den Spitzen des Saugkammes erscheinen.

Durch die vom Kamme B^1 übertretende negative Elektricität wird zunächst eine dielektrische Polarisation der Glasmoleküle der rotirenden Scheibe erzeugt, derart, dass die Moleküle ihre positiven Enden der Vorderfläche, ihre negativen der Hinterfläche der Scheibe zukehren, andererseits wird in die Papierbelegung + Elektricität

in Königsberg gehandhabt. Es sind die Ansichten über die Wirkungsweise von Ebonitscheiben sehr getheilt. Einige finden die mit ihnen erzielten Resultate ausgezeichnet, andere perhorresciren sie, weil Ebonit sich an seiner Oberfläche sehr rasch verändert und seine isolirenden Eigenschaften durch Ueberziehen mit einer Schwefelsäureschicht bald verliert. — Wir werden späterhin noch die Maschine von Bleckrode beschreiben, bei welcher ebenfalls statt Glasscheiben Ebonitscheiben benützt werden.

gezogen, während die — Elektricität in die Spitze *b* abgestossen wird.

Denken wir uns die Scheibe im Sinne des Pfeiles, also gegen die Papierspitzen gedreht, so kommt die Stelle a_1 der ersteren, welche an der Vorderfläche durch die übergeströmte positive Elektricität positiv elektrisch ist, und auch an der Rückfläche zufolge der Polarisation der Moleküle positive Elektricität besitzt, in die Nachbarschaft der Spitze *b*, welche influenzirt wird; die negative Elektricität geht von der letzteren auf die Hinterfläche der Scheibe über, während in die Papierbelegung *B* neuerdings positive Elektricität abgestossen wird, dieselbe sich also stärker positiv ladet. Die Folge dieser stärkeren Ladung des Papierbeleges *B* wird sein, dass noch mehr negative Elektricität aus dem Kamme B^1 gezogen wird, was zum Theil auch durch die positive Elektricität der Vorderseite der von A^1 kommenden Scheibe gefördert wird. Es ist somit die rotirende Scheibe jetzt an den Stellen, welche den Kamm B^1 passirt haben, sowohl an der Vorder- als auch an der Rückseite negativ elektrisch; ersteres wurde durch die aus dem Kamme strömende negative Elektricität, letzteres durch die aus der Papierspitze *b* übergegangene Elektricität veranlasst. Dreht man die Scheibe über B^1 und *C* gegen A^1, so bewirkt die negative Elektricität derselben ein erneutes Ausströmen von + Elektricität aus der Spite *a* gegen die Hinterfläche der Scheibe und von + Elektricität aus den Spitzen gegen die Vorderseite der Scheibe, welche also ihre negative Ladung mit einer positiven vertauscht. Die Papierbelegung *A* wird zufolge dieser Vorgänge noch stärker negativ elektrisch geladen, als vordem.

Durch Multiplication der Ladungen kann die Dichte der nach P und N abgestossenen positiven und negativen Elektricitäten so bedeutend werden, dass man die Conductoren von einander entfernen kann und ein continuirlicher Ausgleich der entgegengesetzten Elektricitäten in den zwischen den Kugeln überspringenden Funken sich vollzieht. Man kann nach dem oben Gesagten leicht erkennen, dass die beiden Seiten der rotirenden Scheibe (respective des Cylinders) immer an der oberen Seite positiv, an der unteren negativ elektrisch sind.

Eine bemerkenswerthe Erscheinung lässt sich nach dem Vorstehenden unschwer erklären: Man bemerkt nämlich, dass der continuirliche Funkenstrom, welcher aus jenem Kamme fliesst, welcher der ursprünglich elektrisirten Belegung gegenübersteht, nicht geradlinig auf die rotirende Scheibe stürzt, sondern sich in einer Richtung krümmt, welche jener der Bewegung der Scheibe entgegengesetzt ist. Die Büschel positiven Lichtes sind also von A^1 gegen C gekrümmt. Es rührt dies von der Anziehung der negativen Elektricität der von B über C nach A kommenden Scheibentheile, ebenso von der Abstossung der positiven Elektricität her, welche sich auf jenen Scheibentheilen befindet, die A^1 passirt haben. Infolge der elektrischen Fernwirkungen ladet sich die Hinterfläche der rotirenden Scheibe schon in einer gewissen Entfernung von a und b positiv, respective negativ elektrisch; analog strömt aus denselben Gründen die positive Elektricität aus A^1 abwärts, die negative Elektricität aus B^1 aufwärts der rotirenden Scheibe entgegen.

Dass bei zu grossem Abstande der beiden Conductorkugeln die Wirkung der Maschine aufhört, wird in folgender Weise erklärt: In dem erwähnten Falle können nämlich sowohl die positive Elektricität aus dem Kamme $g\,g$ (Fig. 28) als auch die negative Elektricität aus dem anderen Kamme $i\,i$ nicht mehr in hinreichender Weise auf die rotirende Scheibe übergehen und es nimmt demzufolge die Ladung dieser Scheibe ab, während die beiden Leitersysteme $g\,f\,n$ und $i\,k\,p$ sich sehr stark negativ, respective positiv laden. In diesem Falle werden dann die von D in der Fig. 30 kommenden positiven Theile der Vorderseite der Glasscheibe positiv bleiben, auch wenn sie vor dem Kamme B^1 vorüber gekommen sind, und werden, wenn sie in die Nähe der Papierspitze a gelangen, aus derselben negative Elektricität ziehen, während die positive Elektricität in den Papierbeleg getrieben wird und dort dessen negative Elektricität neutralisirt oder sogar im Ueberschusse sich dort ansammeln wird. Die durch die Papierspitze a auf die Hinterfläche der Scheibe diesfalls übergegangene negative Elektricität wird bei der Weiterdrehung der Spitze b nahe kommen, aus derselben positive Elektricität ziehen und negative gegen B stossen; dort wird letztere die früher anwesende positive Elektricität neutralisiren, und wenn sie in genügender Quantität vorhanden ist, das elektrische Zeichen der Papierbelegung B umkehren. Der Erfolg dieser Influenzwirkungen wird also der sein, das die Wirkung der Maschine aufhört oder sogar die letztere ihre Polarität umkehrt. Das erkennt man leicht daran, dass die an den Saugkämmen im Dunkeln auftretenden Lichterscheinungen sich umkehren.

Die Umkehrungs-Erscheinungen an der Influenzmaschine treten insbesondere dann leicht auf, wenn man

die beiden Elektroden der Maschine in leitende Verbindung mit den Belegungen einer grossen isolirten Leydnerflaschen-Batterie bringt. Dem misslichen Umstande der Umkehrung der Ladungen kann man in mehrfacher Weise begegnen, und wir werden im weiteren Verlaufe dieser Schrift im Detail die constructiven Mittel beschreiben, welche man zu diesem Behufe in Anwendung brachte. So viel ist jetzt schon leicht einzusehen, dass man die Papierbelegungen vergrössert und dadurch die elektrische Ladung auf denselben steigert. In diesem Falle wird nämlich die von den Spitzen gegen die Papierbelegungen abgestossene Elektricität gegen die dort befindliche entgegengesetzte Elektricität nicht so in Uebermacht sein, dass sie ausser der Neutralisation des Beleges noch eine entgegengesetzte Ladung desselben hervorruft. Man hat in der That in allen neueren Holtz'schen Influenzmaschinen die Papierbelegungen so gross gemacht, dass eine jede von ihnen ungefähr einen Sector von 60^0 umfasst.

Wir sind bei den vorstehenden Erklärungen den Anschauungen Wiedemann's gefolgt, welche im Wesentlichen schon früher von Righi in Bologna und Mascart ausgesprochen wurden. Die oben gegebene Erklärung der Wirkungsweise der Influenzmaschine scheint uns die plausibelste zu sein.

Weitere Bemerkungen über die Wirkung der Influenzmaschinen.

Man hat vielfache Versuche gemacht, welche sich auf die Abänderung der Belege und Spitzen beziehen.

Belege aus einem schlechten Leiter eignen sich für die Influenzmaschine nicht. So verminderten Glimmer-

belegungen die Wirkung der Maschine beträchtlich. In diesem Falle können nämlich die in die Belege abgestossenen Elektricitäten nur schwer in dieselben übertreten. Wählt man die Belegungen aus Metallen, so geht die auf ihnen ursprünglich angesammelte Elektricitätsmenge in die Spitze, erlangt dort eine grosse Dichte und geht direct auf die rotirende Scheibe über. Es würde dann ein Effect eintreten, welcher dem beabsichtigten entgegengesetzt ist. Man wählt daher am allerbesten Papierbelege, welche mittelmässige Leiter der Elektricität sind, darf aber die Papierfortsätze nicht allzu spitz wählen, weil dann die ursprünglich der Belegung ertheilte Elektricität zu leicht durch dieselben zur Scheibe abfliesst. Poggendorff, der viele Jahre sich dem Studium der Holtz'schen Influenzmaschine widmete, hat auch gezeigt, dass mehrere Spitzen keine so gute Wirkung wie eine einzige veranlassen.

Andere Experimente wurden über die Lage der Papierbelegungen und der Spitzen gemacht. Man hat in Erfahrung gebracht, dass die Maschine nicht in Wirksamkeit kommt, wenn die Belege auf jener Seite der festen Scheibe liegen, welche der rotirenden zugekehrt ist, während die Spitzen auf der Hinterseite der fixen Scheibe liegen. In diesem Falle haftet nämlich die aus der Spitze anfänglich entweichende Elektricität auf der äusseren Oberfläche der festen Scheibe und es kann nicht leicht eine weitere Zerlegung der Elektricitäten auf der Belegung stattfinden.

An Stelle der Oeffnungen brachte Poggendorff einfache Spalten an, welche in der gewöhnlichen Weise mit Papierbelegungen versehen waren; die Maschine

functionirte aber nicht in dem Massstabe wie eine solche, bei welcher die Oeffnungen gross waren. Man ist der Meinung, dass die zwischen den Scheiben gebildete Quantität Ozon (Andere glauben, die durch die Entladungen in der Luft erzeugte Untersalpetersäure) sich — wenn keine grossen Oeffnungen angebracht sind — nicht entfernen kann und die Elektricität ableitet.

Es sind in neuester Zeit aber doch Maschinen construirt worden, bei denen die feste Scheibe keine Oeffnungen hatte. So hat Pouchkoff, um die Construction der Maschine zu vereinfachen und die Durchbohrung der Oeffnungen an der Scheibe zu vermeiden, was immer eine ziemlich schwierige und für die Scheibe gefährliche Arbeit ist, die Belegungen aussen an die Scheibe geklebt, die Spitzen jedoch auf die Innenseite der letzteren. Jede Belegung wurde mit ihrer entsprechenden Spitze durch einen kleinen Papierstreifen verbunden, der auf dem Rande der Scheibe aufgesetzt war. Die so construirte Maschine soll nach den Versuchen Pouchkoff's ebenso gut functioniren, wie eine in der gewöhnlichen Weise construirte Maschine.

Man versuchte auch die feste Scheibe ganz wegzulassen und brachte die Papierbelegungen auf getrennten Glasstreifen an; die Maschine hörte in diesem Falle aber bald zu wirken auf, denn es zerstreut sich die Elektricität der rotirenden Scheibe nur allzu leicht in der Luft. Befindet sich aber der letzteren die fixe Scheibe gegenüber, so erfolgt in dieser durch die Elektricität der beweglichen eine dielektrische Polarisation, welche zur Festhaltung der bewegten Elektricität beiträgt. Durch diese gegenseitige elektrische Anziehung wird die Zerstreuung der Elektricität von der rotirenden Scheibe möglichst verhindert.

Wir haben bei der Angabe der Ingangsetzung der Maschine den Umstand besonders hervorgehoben, dass man die Scheibe in einer den Spitzen entgegengesetzten Richtung drehen muss. Würde man nämlich in der Richtung $D\,A\,C\,B$ (Fig. 30) drehen, so würde die bei α_1 positiv gewordene drehbare Glasscheibe aus der Papierspitze negative Elektricität ziehen und die abgestossene positive Elektricität die ursprüngliche Elektricität der Belegung vernichten.

Die Influenzmaschine von Holtz ist gegen die atmosphärische Feuchtigkeit sehr empfindlich; bei feuchtem Wetter ist man oft nicht im Stande, die Maschine in Gang zu setzen. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, ist es nothwendig, einen trockenen, heissen Luftstrom aus einem eigens für die Maschine construirten Ofen auf sie zu senden oder die Maschine ganz mit einem Glaskasten zu bedecken, der einen doppelten Blechboden besitzt und von unten geheizt werden kann. Auch Trocknen der Luft dieses Kastens mittelst wasserfreier Phosphorsäure oder concentrirter Schwefelsäure leistet oft gute Dienste. Man hat auch darauf zu sehen, dass die Scheiben der Maschine staubfrei sind, da Staub die Elektricität zerstreut. Die Schellackschicht der Scheiben leidet sehr durch die von den Kämmen übergehenden Funken und muss von Zeit zu Zeit erneuert werden.

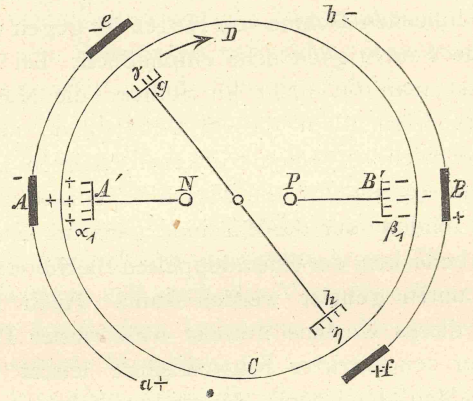
Zur Entfernung des Ozons und der Untersalpetersäure, von welchen Stoffen früher erwähnt wurde, dass sie Elektricität ableiten, bringt man in den Kasten, welcher die Influenzmaschine bedeckt, in einer Schale Leinöl, welches die beiden Gase aufnimmt.

Wir gehen nun im Folgenden zur Beschreibung jener Kunstgriffe über, welche man gebrauchte, um die Umkehrung der Polarität zu vermeiden.

Diametraler Conductor.

Schon Holtz brachte vor der rotirenden Scheibe und zu ihr parallel einen leitenden Stab an, der an seinen Enden in Saugkämme ausgeht, deren Spitzen der

Fig. 31.



Scheibe gegenüberstehen. Dieser Leiter kann um eine Axe gedreht werden, welche mit der Axe des ganzen Systems der beiden Scheiben zusammenfällt, und kann deshalb in Lagen gebracht werden, die parallel zu den verschiedenen Durchmessern der beweglichen Scheibe sind.

Um die Wirkungsweise dieses »diametralen« oder »überzähligen« Conductors mit den »neutralen« Kämmen zu erklären, bedienen wir uns wieder der schematischen Figur (Fig. 31), in welcher der rotirende

Cylinder die Glasscheibe ersetzt. Die Papierbelegungen seien gross oder bestehen aus je zwei gesonderten Belegen, welche den Kämmen des Querstabes und jenen des Conductorkammes gegenüberstehen und untereinander durch schmale Papierstreifen verbunden sind. Diese eigenthümliche Art von Papierbelegen hat man in älteren Influenzmaschinen oft angewendet. Wie in der Figur angedeutet ist, soll der diametrale Conductor mit der Verbindungslinie der Hauptkämme einen Winkel von 60^0 bilden.

Wird die Belegung A und dadurch die mit ihr verbundene Belegung e negativ elektrisch geladen, so ladet sich zufolge der Spitzenwirkung unter der Belegung e die Vorderfläche der Scheibe positiv, während unter der Belegung f dieselbe eine negative Ladung empfängt. Sind die beiden Conductoren P und N in Berührung und es functionirt die Maschine in der gewöhnlichen Weise, dann spielt der diametrale Conductor keine Rolle. Werden nun die beiden Conductoren so weit von einander gezogen, dass zwischen ihnen keine Elektricitätsströmung mehr möglich ist, dann ladet sich $A'N$ und $B'P$ sehr stark negativ, respective positiv elektrisch, und zufolge des Mangels des Elektricitätsflusses aus den Kämmen wird die Vorderseite der Scheibe positiv geladen den Kamm B' passiren; sie würde — wie vorhin erwähnt — bei Abwesenheit des diametralen Conductors aus a — Elektricität ziehen und + Elektricität in die ursprünglich — geladene Belegung A abstossen. Ist aber der neutrale Kamm h vorhanden, dann wird aus demselben die negative Elektricität auf die positiv elektrische Vorderseite der Scheibe strömen, und es wird bewirkt, dass

die positive Elektricität nicht mehr bis zur Papierspitze a gelangt.

In derselben Zeit, als aus dem neutralen Kamme h negative Elektricität auf die rotirende Scheibe übergeht, fliesst auf letztere aus dem Kamme g positive Elektricität und man bemerkt am Kamme g im Dunklen positives Büschellicht, am Kamme h negatives Glimmlicht. Es wirkt also dann, wenn die Berührung von P und N aufgehoben wird, der diametrale Conductor wie der ursprüngliche Conductor $A' B'$.

Bemerkt sei an dieser Stelle noch, dass unter gewissen Umständen am Kamme g eine Lichterscheinung auftreten kann, welche jener am Kamme A' entgegengesetzt ist, und dass ebenso der Kamm h entgegengesetzte Elektricität als der Kamm B' ausströmen lassen kann. Dies würde dann eintreten, wenn die Belegungen e und f weiter von der rotirenden Scheibe abstehen würden, denn dann würde die von diesen Belegungen auf die gegenüberstehenden Kämme ausgeübte Influenzwirkung gegen die von der Vorderseite der rotirenden Scheibe erzielte Wirkung zurücktreten.

Man versuchte auch, die Papierbelegungen A und B ganz wegzulassen, und verband die Belegungen e und f durch Leiter mit den Spitzen a und b. Die Maschine functionirte, aber bedeutend schwächer als bei Anwesenheit von Papierbelegungen, welche A' und B' gegenüberstanden. Das ist begreiflich, denn in diesem Falle wirkt nur die elektrisirte Vorderseite der Scheibe auf die Kämme A' und B', die bedeutende Influenzwirkung der Papierbelegungen A und B fällt aber weg. So gab eine von Riess benützte Influenzmaschine mit vier Belegungen

16 cm Funkenlänge, bei Anwendung von nur zwei Belegen, welche den neutralen Kämmen gegenüberstehen, $14^1/_2$ cm lange Funken.

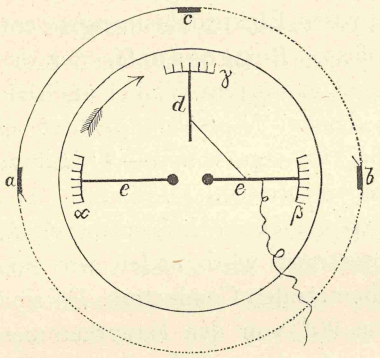
Was den Winkel anbelangt, welchen der diametrale Conductor mit dem eigentlichen Conductor bildet, so ist im Allgemeinen darüber nur Folgendes zu sagen: Derselbe muss bedeutender sein, wenn die Länge der zwischen den Elektroden überspringenden Funken grösser wird. Jedenfalls darf man den diametralen Conductor dem eigentlichen Conductor nicht zu nahe bringen, denn sonst würde er dem letzteren grosse Elektricitätsmengen entziehen; deshalb sagt Professor Poggendorff, der diametrale Conductor wirkt bei grösserem Winkel als Elektricitäts-Conservator, bei kleinem Winkel vernichtet er aber die Elektricität. Bei Funken von 7—8″ Länge kann dieser Winkel 30^0 überschreiten.

In der in Fig. 28 dargestellten Influenzmaschine, wie sie von Borchardt construirt wird, finden wir eine andere Einrichtung des diametralen Conductors. Es sind in Winkelentfernungen von 90^0 von den Hauptkämmen andere Saugkämme, rtt und uvv, angebracht, welche der rotirenden Scheibe genähert oder von derselben entfernt werden können.

Dadurch, dass man etwa den Arm rtt dicht vor die Scheibe bringt und bei in Gang gesetztem Apparate durch einen leitenden Metallbügel eine Verbindung zwischen rtt und fgg herstellt, verhindert man den Verlust der elektrischen Ladung, auch wenn die beiden Conductoren über die Schlagweite hinaus entfernt wurden. Der Apparat kommt sogleich in volle Wirksamkeit, wenn die Conductoren einander genähert werden.

Die Erklärung der Wirkung dieser Hilfsvorrichtung ist einfach folgende: Sind die Conductorkugeln zu weit entfernt und der überzählige Conductor nicht vorhanden, so hört die Elektricitätsströmung zwischen den Conductorkugeln auf; es kann sich die Scheibe, welche rotirt, bei $g\,g$ nicht mehr genügend stark positiv laden, ebenso bei $i\,i$ nicht mehr genügend negative Elektricität erhalten, und die Maschine hört bald zu wirken auf. Verbindet man jedoch mittelst des Metallbügels den Hauptkamm $g\,g$ mit dem neutralen Kamm $t\,t$, so wird alsbald die positive Elektricität von $t\,t$ nach $g\,g$ und auf die rotirende Scheibe strömen, während die negative Elektricität bei $t\,t$ auf die letztere übergeht. Dass diese Elektricitätsströmung stattfindet, zeigen auch die am Kamme $t\,t$ auftretenden negativen Lichterscheinungen und die grossen Lichtbüschel, welche nun am Kamme $g\,g$ auftreten. Hat man die Kämme $t\,t$ und $g\,g$ leitend verbunden, die Conductorkugeln aber zur Berührung gebracht, so entweichen sowohl aus dem Kamme $g\,g$, als auch aus dem Hilfskamme $t\,t$ positive Elektricitäten; die im Dunklen auftretenden Lichtbüschel sind aber um Vieles kleiner, als jene, welche aus dem Kamme $g\,g$ treten, wenn der Hilfskamm $t\,t$ entfernt ist.

Fig. 32.



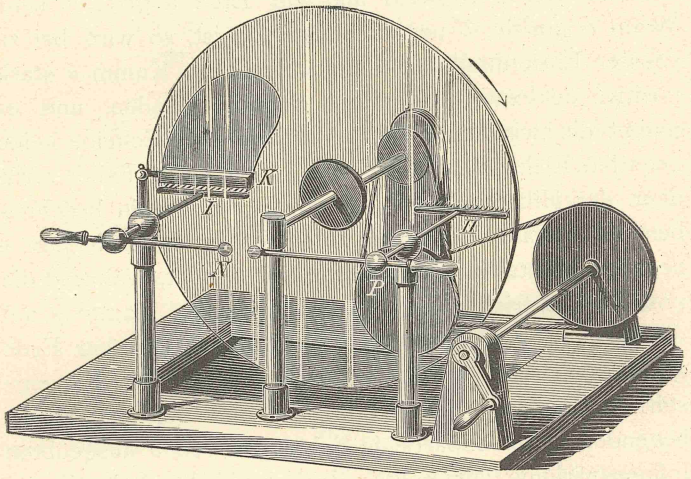
Eine ähnliche Anordnung der Kämme hat bereits Riess im Jahre 1870 angegeben. Er ordnet an der fixen Scheibe drei Belegungen a, b, c an, von denen die beiden ersten, a und b, in gewöhnlicher Weise angebracht sind, während der dritte Beleg c (Fig. 32) von den beiden ersten um 90^0 absteht und mit a leitend verbunden ist. Allen drei Belegungen stehen Saugkämme gegenüber, von denen diejenigen, welche b und c gegenüberliegen, mit einander verbunden und zur Erde abgeleitet sind. Wenn a positiv, b negativ elektrisch ist, so wird bei zu grosser Entfernung der Conductoren der Kamm α stark positiv, der zweite Kamm β negativ geladen, und es nimmt die zwischen a und α durchgehende Scheibe keine negative Elektricität mehr auf. In diesem Falle wirkt dann der Hilfsconductor $\gamma\,\beta$, sowie der vorhin beschriebene diametrale Conductor, indem er durch den Kamm γ negative Elektricität auf die Scheibe sendet, während die positive Elektricität zum Theile durch den Kamm β auf die Scheibe übergeht, zum Theile durch den zur Erde geführten Draht abfliesst. Die Erdverbindung hat eine stärkere Ladung des Kammes β und der gegenüberliegenden Scheibenpartie in Folge der von b ausgeübten Influenzwirkung zur Folge; doch kann die dadurch eintretende ungleiche Vertheilung der Elektricitäten auf den mit den Kämmen α und β verbundenen Conductoren manchmal störend wirken.

Maschine von Kundt.

Professor Kundt hat im Jahre 1868 eine Methode angegeben, mittelst welcher man die Umkehrung der Ladung einer Influenzmaschine in anderer Weise ver-

meiden kann, als durch Anwendung von diametralen und Hilfsconductoren. Die Umkehr der Ladungen wird in der Kundt'schen Anordnung dadurch verhindert, dass hinter einem der Sauger ein Reibzeug mit einem Seidenflügel von der Länge eines Quadranten angebracht wird; in diesem Falle entfällt die fixe Scheibe, welche als Träger der Bewegungen dient, und es wirkt die In-

Fig. 33.



fluenzmaschine gleichzeitig als Reibungs-Elektrisirmaschine.

Die Figur 33 gibt die Details der Kundt'schen Maschine an. Die im Sinne des Pfeiles gedrehte Glasscheibe wird auf der Hinterseite durch ein mit Amalgam versehenes Kissen K gerieben, welches isolirend gestützt ist und den in der Figur angedeuteten Seidenflügel trägt. Dem Reibkissen gegenüber und in einer Winkelentfernung

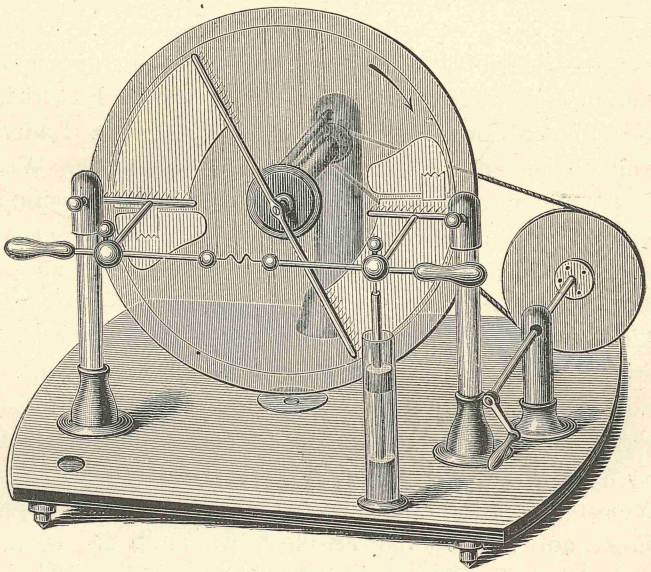
von 180^0 von demselben befinden sich zwei Saugkämme, welche also in ähnlicher Weise wie bei der Holtz'schen Influenzmaschine angeordnet sind.

Durch die Reibung wird die Scheibe auf ihrer Hinterseite positiv elektrisch und zieht, wenn sie beim Saugkamme *II* angelangt ist, aus demselben negative Elektricität, welche auf die Vorderseite der Scheibe strömt, während der Conductor *P* sich positiv ladet. Kommt nun die Scheibe bei ihrer weiteren Drehung gegen den Kamm *I*, so zieht sie aus demselben positive Elektricität an und der Conductor *N* erhält eine negative Ladung. Nun beginnt die Maschine in der gewöhnlichen Weise zu functioniren. Nicht nur in Folge der Influenzwirkung jenes Scheibentheiles, der negative Elektricität erhielt, auf den gegenüberstehenden Kamm *I*, sondern auch in Folge der starken negativen Elektricität des geriebenen Kissens strömen bedeutende positive Elektricitätsquantitäten aus *I* auf die Vorderseite der Scheibe, und es ladet sich der mit *I* verbundene Conductor *N* sehr stark negativ elektrisch. Die Scheibe ist nun, nachdem sie den Kamm *I* passirt hat, beiderseits positiv elektrisch geladen; die positive Elektricität ihrer Vorderseite geht direct auf den Kamm *II* über, während die positive Elektricität der Rückseite influenzirend wirkt. Bei dem in der Figur dargestellten Drehungssinne wird also die obere Hälfte der Vorderseite der Scheibe positiv elektrisch, deren untere Hälfte negativ elektrisch sich erweisen.

Es hat sich gezeigt, dass eine Ableitung des bisher isolirt gehaltenen Reibzeuges die Wirksamkeit der Maschine bedeutend beeinträchtigt. Es ist diese Erscheinung

leicht erklärlich: die positive Elektricität, welche durch Reibung der Scheibe auf ihrer Hinterfläche erzeugt wurde, und die negative Elektricität ihrer Vorderseite binden sich zum Theile, und es bleibt dann nur die influenzirende Wirkung der negativen Reibungselektricität des Kissens

Fig. 34.



übrig. Wird nun auch diese durch Ableitung des Kissens entfernt, so müssen natürlicher Weise die Effecte sich vermindern.

Dass die Kundt'sche Maschine bedeutend mehr positive als negative Elektricität liefert, ist begreiflich, weil zur Hervorrufung der ersteren sowohl das Kissen als auch die Scheibe wirkt, während die letztere nur

durch die Influenzwirkung der Scheibe erzeugt wird. Die Umkehrung der Polarität wird vermieden, denn die continuirliche Reibung der Scheibe erhält die Richtung der elektrischen Strömung constant; doch sinkt die elektrische Spannung an den Elektroden beim Entfernen derselben in hohem Masse, was bei Anwendung des diametralen Conductors oder der Hilfsconductoren nicht stattfindet.

Ein grosser, nicht zu unterschätzender Vortheil der Maschine von Kundt, welche in ihrem Principe mit der früher beschriebenen Maschine von Carré grosse Aehnlichkeit besitzt und als eine Combination der Bertsch'schen und Holtz'schen Maschine zu betrachten ist, ist der, dass sie gegen die atmosphärischen Feuchtigkeitsverhältnisse bei weitem nicht so empfindlich wie die Holtz'sche Maschine ist.

Wir haben unserer Beschreibung der Holtz'schen Influenzmaschine das durch Fig. 28 dargestellte Modell der von Borchardt construirten Maschine zu Grunde gelegt. Verschiedene einfachere Constructionen dieses allgemein zur Erzeugung hochgespannter Elektricität verwendeten Apparates wurden vorgenommen, und wir erwähnen noch einige der hierher gehörigen Instrumente.

Verschiedene Constructionen der Holtz'schen Maschine.

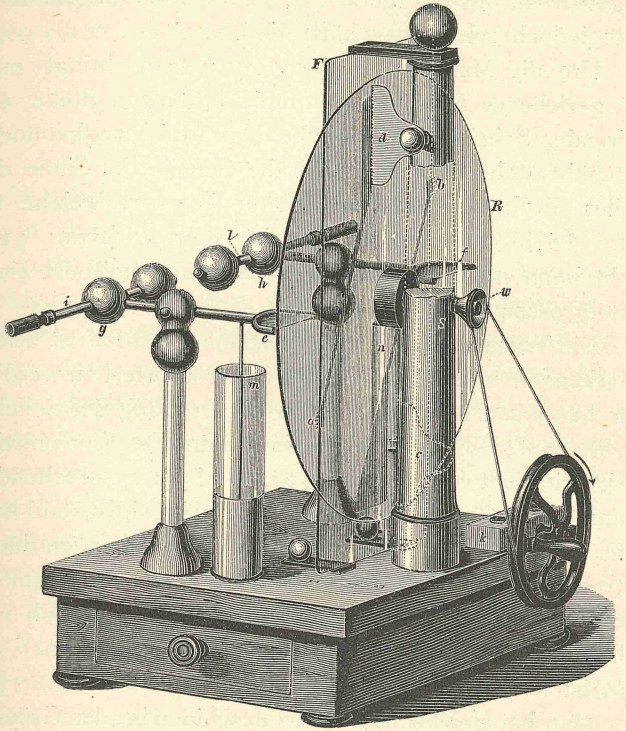
Durch grosse Einfachheit, elegante Zusammenstellung der einzelnen Bestandtheile und vorzügliche Wirksamkeit ausgezeichnet ist eine von Stöhrer construirte Influenzmaschine, welche in Fig. 34 abgebildet ist. In derselben ruht die feste Scheibe eingefalzt in einer Ebonitplatte und trägt die Belegungen, welche einen

Winkel von 60° umfassen. Zur Vermeidung der Umkehrung der Polarität der Elektroden wird ein diametraler Conductor verwendet, der in die in der Fig. 34 angegebene Lage gebracht wird. Gewöhnlich befinden sich am Fussgestelle unter den Conductorstäben Metallstäbe, auf denen Metallhülsen auf und ab geschoben werden und so in leitende Verbindung mit den Elektroden gebracht werden können. Mit den Metallstäben lassen sich Drähte durch Klemmschrauben verbinden, welche man zu jenen Apparaten (z. B. Geissler'schen Röhren) führt, durch welche ein Strom starkgespannter Elektricität cursiren soll.

Eine andere Influenzmaschine nach Holtz'schem Principe wurde von Leyser construirt; sie ist sehr einfach construirt und gestattet, wie die eben beschriebene, ein leichtes und bequemes Auseinandernehmen der einzelnen Bestandtheile und Wiederzusammensetzen derselben. Wir beschränken uns bei ihrer Beschreibung nur auf das Wesentlichste. Man bemerkt in der beistehenden Fig. 35 die bewegliche Scheibe *R* und die feste rechteckige Scheibe *F*, welche die Belege trägt und oben und unten in Hartgummistücken fixirt ist. Die Belegungen haben die Gestalt von rechtwinkeligen Dreiecken mit zwei abgerundeten Ecken; sie sind aus Silberpapier verfertigt und dieses ist mit der Metallseite auf die von der sich drehenden Scheibe abgekehrte Seite der fixen Scheibe geklebt und auf der Papierseite lackirt; diese Belegungen stehen mittelst schmaler, in derselben Weise aufgeklebter Streifen von Silberpapier in Verbindung mit kleinen Saugkämmen *a* und *b*, die aus steifem Papiere angefertigt sind und deren Saugspitzen etwas nach der rotirenden Scheibe gekrümmt sind, die sie aber nicht berühren. An

der Säule *S* befinden sich Saugkämme von Messing, *c* und *d*, und diese stehen nahezu in derselben verticalen Ebene, wie die verticalen Kanten der Erreger. Die beiden

Fig. 35.



eben erwähnten Kämme sind durch einen Metalldraht, welcher die Säule *S* durchsetzt, mit einander in leitender Verbindung und können parallel der Axe der Maschine ein wenig verrückt werden. Die Conductoren stehen in

Verbindung mit zwei Saugkämmen *e* und *f*, welche in der Leyser'schen Maschine eigenthümlich construirt sind. Sie stellen nämlich zwei halbkreisförmige Messingplatten vor, welche an der gekrümmten Seite wulstig aufgeworfen, an der geraden, der Scheibe zugekehrten Seite jedoch sehr zugeschärft sind.

Um die Maschine in Gang zu setzen, bringt man ein geriebenes Stück Hartgummi derjenigen Stelle der rotirenden Scheibe nahe, welche dem Papiersaugkamme *a* gegenübersteht, während man die Scheibe im Sinne des Pfeiles dreht. Die Maschine von Leyser, welche im Jahre 1873 construirt wurde, ist sehr wirksam; ganz leicht kann man Funken von 16 cm Länge mittelst einer mittelgrossen Maschine erhalten.

Die Wirkungsweise einer solchen Maschine ist leicht zu erkennen und braucht nicht näher erörtert zu werden. Wir bemerken nur, dass, wenn die Drehung der Scheibe im erwähnten Sinne erfolgt, die Kämme *a, d, e* positive Elektricität entweichen lassen, während die entsprechenden Kämme *b, c, f* negative Elektricität ausstrahlen, und man kann sich leicht von diesen Elektricitätsströmungen durch Betrachten der functionirenden Scheibe im Dunkeln überzeugen. Dass die elektrischen Polaritäten sich umkehren, wenn man die geriebene Ebonitplatte an *b* anlegt, ist selbstverständlich.

Man hat Holtz'sche Influenzmaschinen in allen Grössen verfertigt. Eine der grössten Maschinen dieser Art wurde vor kurzer Zeit von J. & H. Berge in New-York construirt. Dieselbe besitzt zwei rotirende Scheiben von 45 engl. Zoll (1·143 m) Durchmesser und ist mit einem Hilfsapparate versehen, um sie sogleich gebrauchen zu

können. Die Funkenlänge der Maschine beträgt 26 englische Zoll (66 cm).

Bevor wir zur Betrachtung der Influenzmaschine mit mehreren Belegungen übergehen, wollen wir noch eine Maschine betrachten, die in mancher Beziehung theoretisches Interesse bietet; es ist dies die

Maschine von Bleekrode.

Eine Elektromaschine erster Art wurde auch von Bleekrode construirt. Die Eigenthümlichkeit derselben besteht darin, dass die Scheiben aus Ebonit angefertigt waren. Werden dieselben schadhaft, so genügt ein Abreiben mit kohlensaurer Magnesia, um sie wieder zu restituiren. Die ruhende Scheibe hatte einen Durchmesser von 58 cm, die rotirende von 55 cm, die Dicke der Scheiben betrug 1·5 mm. Ohne diametralen Conductor kam die Maschine von Bleekrode nicht in Function. Auch wenn die Maschine einmal in Wirksamkeit ist und starke Funken zwischen den Elektroden überspringen, verschwindet sofort alle Elektricität, wenn der diametrale Conductor entfernt wird. Bringt man jedoch denselben wieder in die Nähe der Scheibe, so kommt die Maschine zur vollen Wirkung.

Die in den Belegen angehäufte Elektricität hat einen eigenthümlichen Einfluss auf die Gestalt der Flammen. Wird eine solche dem positiven Belege der erregten Maschine genähert, also jenem Belege, aus dessen Spitze negative Elektricität ausströmt, dann stösst dieselbe die Flamme zurück, dagegen wird sie von dem negativen Belege angezogen und nähert sich demselben mit scharfer Spitze.

Es dürfte von Interesse sein, zu erfahren, dass Bleekrode einen diametralen Conductor aus Gasflammen construirte. Auf einem Holzstabe befestigte er zweifach gebogene Glasröhren, welche mit der Gasleitung verbunden wurden; die Ausströmungs-Oeffnungen sind durch einen dünnen Kupferdraht mit einander verbunden. Der erwähnte Stab wird in dieselbe Stellung gebracht, wie der diametrale Conductor, und das Gas angezündet. Es functionirt dann die Maschine, wie mit dem gewöhnlich angewendeten diametralen, Conductor, mit den beiden Spitzenkämmen.

Wir erwähnen diesen Versuch hauptsächlich deshalb, weil er als Vorlesungsexperiment, um bei vollem Tageslichte die Polarität der Enden des diametralen Conductors zu demonstriren, sehr instructiv ist. Die nach der Scheibe gerichtete Flamme deutet auf die negative Elektricität, die abgestossene auf die positive Elektricität der Papierbelegung. Jede Polaritätsumkehrung wird sofort aus der wechselnden Richtung der Flammenspitzen erkannt.

Das eigenthümliche Verhalten der Flammen hat Riess in folgender Weise erklärt: Bei der Verbrennung eines Stoffes wird selbstständige Elektricität erregt; die aufsteigende Kohlensäure ist positiv elektrisch, während die übrige Substanz negativ zurückbleibt.

Selbstverständlich hört die Maschine zu wirken auf, wenn der Kupferdraht, welcher zwischen den beiden Ausflussöffnungen eine Brücke bildet, entfernt wird, denn dann hat man keinen diametralen Conductor der Scheibe gegenübergestellt.

Später hat Bleekrode auch Doppel-Elektromaschinen mit Ebonitscheiben hergestellt, die — was

ihre Construction betrifft — mit den Borchardt'schen Maschinen die grösste Aehnlichkeit haben.

Influenzmaschinen mit mehreren Elementen.

Wir haben bisher angenommen, dass die fixe Scheibe zwei Belegungen mit zwei Ausschnitten oder — wie sich Holtz ausdrückt — zwei Elemente enthalte.

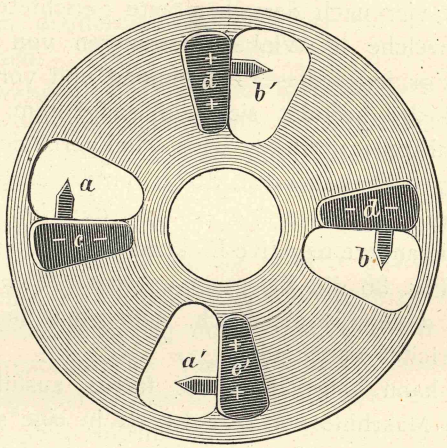
Zur Vergrösserung der Elektricitätsmengen haben Poggendorff und Holtz an der festen Scheibe vier Belege mit vier nach derselben Seite gerichteten Spitzen befestigt, welche in Winkelentfernungen von 90^0 sich befinden. Vor jeder dieser Belegungen und vor der rotirenden Scheibe befindet sich ein Saugkamm, der von einem Metallstabe getragen wird. Man verbindet die diametral gegenüberstehenden Stäbe unter einander und mit je einer Kugelelektrode, so dass die eine Elektrode positive, die andere negative Elektricität aufnimmt. Laden wir z. B. Fig. 36 die Belegung c negativ elektrisch, so wird auch d negativ elektrisch, während c' und d' positive Elektricität annehmen.

Man kann sehr leicht die früher ausführlich beschriebene Maschine von Borchardt in eine solche mit vier Elementen transformiren. Die in der Fig. 36 dargestellte Scheibe wird in die Maschine eingesetzt; sodann entfernt man den Messingbügel, welcher eine leitende Brücke zwischen $g\,g$ und $f\,f$ herstellt, und verbindet die beiden Kämme $u\,v\,v$ und $r\,t\,t$ mit f durch eine Metallklammer, während gleichzeitig $g\,g$ mit dem Kamme $i\,i$ in Communication gesetzt wird; es ist leicht einzusehen, dass in dem erwähnten Falle p zur negativen, hingegen n zur positiven Elektrode wird

Die von einer solchen Maschine entwickelte Elektricitätsmenge ist grösser als jene einer zweielementigen Maschine, die Schlagweite aber ist um vieles geringer.

Holtz hat an einer Scheibe, die fast 2·5 Fuss Durchmesser hatte, 20 Belegungen oder Erregungsstellen angebracht; in Folge dessen wurde die erzeugte Elektricitätsmenge die zehnfache jener einer Maschine mit nur zwei

Fig. 36.



Elementen, Holtz fand aber, dass eine solche Maschine den Stromumkehrungen in hohem Masse ausgesetzt ist. Aus diesem Grunde verfertigt man die Influenzmaschine gewöhnlich mit nur zwei Belegungen.

Betrachten wir die Maschine mit vier Belegungen genauer, so sehen wir, dass in derselben z. B. von *rtt* und *uvv* zwei Partialströme von entgegengesetzter Richtung verkehren, welche sich in einem Verbindungsstücke

aufheben würden; bringt man aber an einem Stabe des letzteren einen mit *f* verbundenen Draht an, so fliessen die erzeugten Elektricitätsmengen in denselben und liefern doppelt soviel Elektricität als ein Saugkamm. Aus diesem Grunde rechnet Poggendorff die Influenzmaschine mit vier Belegungen in die Gruppe der später zu beschreibenden von ihm angegebenen Doppelmaschinen, bei denen wir einen ähnlichen Vorgang antreffen werden.

Andere Methoden, eine Influenzmaschine zu erregen.

Bisher nahmen wir an, dass man eine Influenzmaschine dadurch erregt, dass man an die eine Belegung eine Elektricitätsquelle anlegt, welche ihr Elektricität mittheilt. Man kann aber eine Influenzmaschine auch noch auf zwei andere Arten erregen, wie Poggendorff genauer untersucht hat: entweder dadurch, dass man aus einer Elektricitätsquelle Elektricität durch die Metallkämme der Maschine auf die rotirende Scheibe strömen lässt, oder auch mittelst der ruhenden Scheibe, nachdem man dieselbe durch vorangegangenen Gebrauch der Maschine in ihrer oberen und unteren Hälfte entgegengesetzt elektrisch gemacht und die Belege ableitend berührt hat.

Von besonderem Interesse ist folgende Erregungsweise: Man legt zwei entgegengesetzt geladene Leydnerflaschen, deren äussere Belegungen in leitende Verbindung gebracht sind, mit ihren Knöpfen an die von einander entfernten Elektroden der Maschine und dreht die Maschine in gewöhnlicher Weise, also den Zähnen der Papierbelegungen entgegen, dann geht von der positiven Flasche positive Elektricität, von der negativen negative

Elektricität auf die Scheibe, und die Maschine fängt zu functioniren an. Da der eine Kamm fortwährend positive, der andere immer negative Elektricität aussendet, die Knöpfe der Elektroden fortdauernd die entgegengesetzten Elektricitäten an die Flasche abgeben müssen, so wird die letztere wieder geladen und zwar im umgekehrten Sinne wie vorhin. Es wechseln fortwährend die Zeichen der Ladungen der Flaschen und es wird in Folge dieses Umstandes auch die Maschine im entgegengesetzten Sinne erregt. Um daher aus dieser Ladungsart Vortheil zu ziehen, muss man die Elektroden zur rechten Zeit einander bis zur Berührung nahe bringen und die Flaschen entfernen.

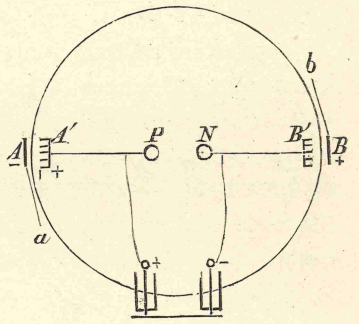
Es muss hier bemerkt werden, dass die beschriebenen Erscheinungen, von denen man sich durch den Lichtwechsel in einer Geissler'schen Röhre, die zwischen den Belegungen der Flaschen und den Kämmen eingeschaltet ist, oder durch die abwechselnde Ablenkung eines in diesen Stromkreis eingeschalteten Galvanometers überzeugen kann, dann auftreten, wenn die Maschine nicht mit einem diametralen Conductor versehen ist.

Ist hingegen die Maschine mit einem Hilfsconductor ausgerüstet, so sendet die positiv geladene Flasche bei rechtsläufiger, also gewöhnlicher Drehung der Maschine negative Elektricität gegen die rotirende Scheibe und umgekehrt, die Flaschen laden sich im ursprünglichen Sinne bis zu ihrem Maximum und es gelangt die Maschine im umgekehrten Sinne zur Thätigkeit.

Dieses eigenthümliche Verhalten geladener Flaschen gegen die noch unerregte Influenzmaschine, je nachdem

diese mit dem diametralen Conductor versehen ist oder nicht, gibt auch eine einfache Erklärung der Thatsache, dass, wenn man Flaschen an der bereits functionirenden Maschine zu laden versucht und letztere mit keinem diametralen Conductor versehen ist, der Strom der Maschine sich umkehrt, dass dies aber nicht geschieht, wenn dieser Conductor vorhanden ist. Im erstbezeichneten Falle wirkt nämlich die Flasche der Maschine entgegen, im letzteren Falle aber nicht.

Fig. 37.

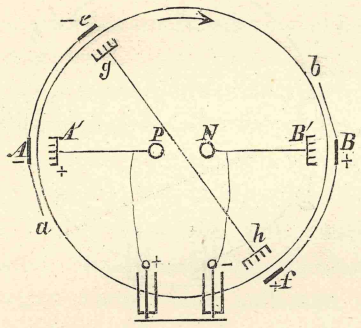


Die Erklärung der erwähnten Erscheinungen wurde im Jahre 1874 von Rosetti gegeben. Wir betrachten zunächst den Fall einer Influenzmaschine ohne diametralen Conductor Fig. 37. Die beiden von einander entfernten Elektroden sind mit den inneren Belegungen zweier entgegengesetzt geladenen Leydnerflaschen in Verbindung. Die von der linken Leydnerflasche auf den Kamm A' übergegangene Elektricität strömt auf die Vorderseite der bewegten Scheibe und wird mittelst der Scheibe dem Kamme B' gegenübergebracht; dort entladen sich die Flaschen allmählich, denn jene Flasche, deren innere Belegung nun negativ elektrisch war, sendet diese Elektricität durch den Spitzenkamm B' zur von A' übergeführten positiven, mit der sie sich neutralisirt. Wie begreiflich, ladet sich aber auch die Belegung B positiv elektrisch und es fliesst aus der Papierspitze

negative Elektricität auf die Rückseite der beweglichen Scheibe. Die positive Elektricität der Belegung zieht nun negative Elektricität aus dem Saugkamme B' und in Folge dieses Umstandes ladet sich jetzt die rechte Flasche auf ihrer inneren Belegung positiv; es tritt somit eine Umkehr der Polarität ein.

Nun betrachten wir näher den Fall einer Maschine mit diametralem Conductor (Fig. 38). Es geht abermals von der linken Leydnerflasche auf den Kamm A' und durch denselben auf die bewegliche Scheibe positive Elektricität über. Bei der Drehung der Scheibe in dem angegebenen Sinne veranlasst diese positive Elektricität ein Ausströmen von negativer Elektricität aus dem Kamme g und ein Entweichen von positiver Elektricität auf die Vorderseite der Scheibe aus dem Kamme h des diametralen Conductors. Diese letztgenannte Elektricität stösst, wenn sie dem Kamme A' gegenüber gekommen ist, die positive Elektricität der inneren Belegung der linken Flasche in dieselbe zurück und ladet vermöge der Influenzwirkung diese Flasche noch stärker positiv elektrisch. Das Entgegengesetzte findet in der anderen Flasche statt. Die beiden Flaschen kommen allmählich zum Maximum der Ladung.

Fig. 38.



Ladung einer Influenzmaschine durch den Strom einer anderen.

Wenn man von zwei Influenzmaschinen mit diametralem Conductor und dahinter befindlichen Papierbelegungen die eine erregt und den Strom dieser Maschine auf die noch nicht erregte, aber in Rotation befindliche zweite Maschine leitet, so kommt diese in entgegengesetzter Richtung zur Wirkung, so dass also der Strom der ersten Maschine jenem der zweiten entgegengesetzt gerichtet ist. Die Maschinen wirken also in diesem Falle, in welchem sie gleichsinnig mit einander verbunden sind, entgegen. Welche Maschine das Uebergewicht erreicht, hängt von der Kraft der Maschine ab, aber auch davon — wie Poggendorff durch mehrere Versuche nachgewiesen hat — welche von den beiden Maschinen zuerst in Bewegung gesetzt wurde. Dieser Physiker fand nämlich, dass die zuerst bewegte Maschine die andere übertrifft.

Von dem eigenthümlichen Verhalten zweier in der Weise combinirten Maschinen kann man nun eine Nutzanwendung in der Weise machen, dass man zwischen den Verbindungsdrähten je zweier Saugkämme eine Brücke einrichtet. In derselben erhält man einen Strom, welcher gleich der Summe der Ströme beider Maschinen ist.

Diese soeben beschriebenen Phänomene leiteten zur Construction der Doppelmaschinen, deren Einrichtung wir im Folgenden erörtern wollen.

Doppel-Influenzmaschinen.

Eine der ersten Doppel-Influenzmaschinen wurde von Kaiser (1869) construirt. Dieselbe bestand aus zwei rotirenden Scheiben von Glas, und zwischen letzteren befand sich

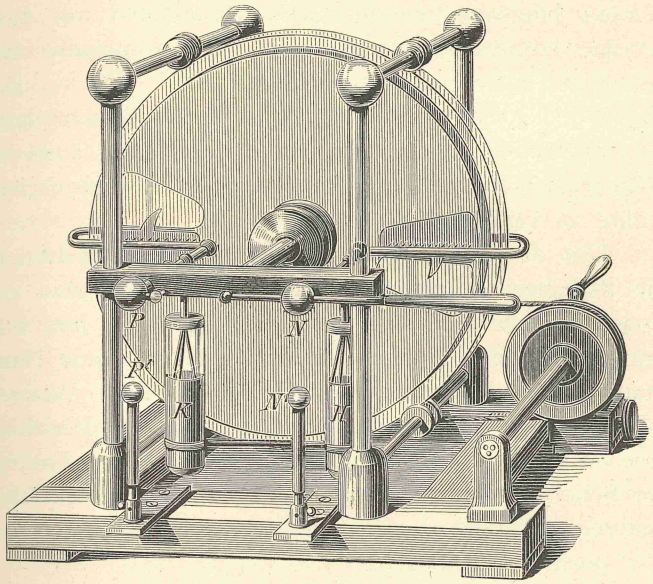
zu diesen Scheiben parallel eine feste Scheibe, die um wenige Millimeter von den ersteren abstand. Die beweglichen Scheiben rotiren in derselben Richtung. Die fixe Scheibe hat zwei Ausschnitte und an beiden Seiten sind neben diesen Papierbelegungen angebracht, welche in die Ausschnitte mit Spitzen aus Cartonpapier hervorragen. Für jede rotirende Scheibe sind zwei Saugkämme, also im Ganzen vier Spitzenkämme nothwendig. Es sind sowohl die beiden negativen, als auch die beiden positiven Kämme unter einander verbunden. Kaiser hat die Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit von dieser Maschine geliefert wird, d. i. die Stromintensität mittelst eines in den Stromkreis eingeschalteten Galvanometers 2·12mal so gross gefunden, wie die Stromstärke einer Maschine, die nur eine Scheibe besitzt.

Poggendorff machte im Jahre 1870 einen Vorschlag zur Construction einer Doppelmaschine, welche in vorzüglichster Weise von Borchardt ausgeführt wurde. Die beweglichen Scheiben befinden sich auf derselben Axe befestigt und besitzen einen Abstand von 10 cm. Nach aussen stehen vor diesen Scheiben die festen Scheiben, deren Papierbelegungen ziemlich ausgebreitet sind und sich über einen grossen Winkel erstrecken. Jede dieser fixen Scheiben besitzt zwei Elemente, und diese sind so angeordnet, dass, wenn man die Maschine von der Seite einer Scheibe betrachtet, die Papierbelegungen, welche einander entsprechen, sich decken. Den Spitzen gegenüber befinden sich Saugkämme, an Messingstäben angebracht, welche horizontal zwischen den beweglichen Scheiben sich erstrecken und auf Glasfüssen ruhen. Von den horizontalen Messing-

stäben gehen verticale aufwärts, welche die Conductorkugeln tragen.

Während in der Maschine Kaiser's diametrale Conductoren fehlen, hat Poggendorff solche, je einen vor jeder beweglichen Scheibe, angebracht; diese Kämme

Fig. 39.



bilden mit der Horizontalen ungefähr einen Winkel von 45°.

Etwas später hat Ruhmkorff der Doppelmaschine eine viel einfachere und bequemere Gestalt gegeben; seine Maschine ist aus Fig. 39 ersichtlich. In derselben sind die beiden fixen Scheiben zwischen den beweglichen

Scheiben gelegen. Die den gleichnamigen elektrischen Belegungen gegenüberstehenden Saugkämme sind ähnlich wie bei der Reibungs-Elektrisirmaschine von Ramsden, durch Klammern verbunden, welche die vier Scheiben umschliessen. Diese Arme werden von Messingstäben getragen, die ihrerseits in die Conductorkugeln übergehen, welche durch Ebonithandgriffe einander genähert werden können. Es sind diese Conductoren mit zwei Leydnerflaschen in Verbindung, deren äussere Belegungen mit einander verbunden sind. Die in der Figur 39 ersichtlichen Stäbe P' und N' dienen dazu, um die Conductoren in bequemer Weise mit äusseren Körpern, z. B. mit den Polenden einer Geissler'schen Röhre zu verbinden.

Um den Apparat functioniren zu lassen, dreht man die Scheiben in passendem Sinne, nachdem man die Conductorkugeln bis zur Berührung gebracht hat, und bringt zwischen die fixen Scheiben eine geriebene Hartgummiplatte, die man an eine Belegung anlegt. Wie wir bald aus dem Schema der Wirkungsweise der Maschine ersehen werden, laden sich dann bei fortgesetztem Drehen der Scheiben die anderen Belegungen, welche von den ersteren um 180^0 abstehen, im entgegengesetzten Sinne, also positiv elektrisch.

Die Elektricitäts-Erzeugung einer Doppelmaschine ist — wie bereits vorhin angegeben — die doppelte jener einer Maschine mit nur einer Scheibe. Dies gilt, wie mehrere Versuche lehren, jedoch nur so lange, als die Schlagweite gering ist. Die von dieser Maschine erzeugten Funken sind auch länger als jene von einer einscheibigen Maschine von denselben Dimensionen erzeugten; so gab

eine einfache Scheibenmaschine (Durchmesser der Scheibe 50 cm) Funken von 18 cm Länge, während eine Doppelmaschine, in welcher die Scheiben dieselbe Dimension hatten, Funken von 22 cm liefert. Mit Scheiben von 1 m im Durchmesser kann man Funken bis 30 cm Länge erhalten.

Ein besonderer Vortheil der Maschinen mit zwei beweglichen Scheiben ist der, dass sie, einmal erregt, die Elektricität sehr lange erhalten; ein derartiger Apparat bleibt in einer nicht allzu feuchten Atmosphäre mehrere Stunden elektrisirt. Es mag diese letztere Erscheinung von der eigenthümlichen Anordnung der Papierbelegungen herkommen, welche gleichnamig elektrisirt einander gegenüberstehen.

Bei einer Doppelmaschine kann man auch die Conductorkugeln von einander weit entfernen, ohne dass die Maschine zu wirken aufhört. Was die Umkehrungen einer Doppelmaschine betrifft, so hat die Erfahrung Folgendes gelehrt:

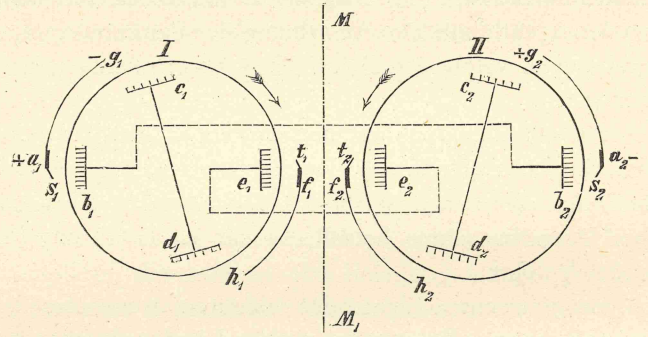
Bei getrennten Elektroden existiren, wenn dieselben mit den inneren Belegungen zweier Leydnerflaschen verbunden sind, deren äussere Belegungen in Communication stehen, solche Umkehrungen nicht, wenn beide Scheiben mit diametralen Conductoren versehen sind.

Entfernt man aber von der einen Scheibe den diametralen Conductor, so kehrt die Maschine ihre Pole um, dann wirken beide Maschinen in entgegengesetzter Weise und es wechselt der Elektricitätsstrom in Folge dessen auch in der zweiten Maschine seine Richtung, so dass also nach sehr kurzer Zeit die Maschinen, wieder einander unterstützend, functioniren.

Erklärung der Wirkungsweise einer Doppelmaschine.

In der folgenden schematischen Figur (Fig. 40) sind die in Wirklichkeit hintereinander stehenden Scheiben neben einander dargestellt; in Folge dessen mussten die entsprechenden Theile der beiden die Doppelmaschine zusammensetzenden einfachen Maschinen symmetrisch zur Mittellinie $M\,M_1$ gezeichnet werden; aus eben demselben Grunde erscheinen die in Wirklichkeit in einem und

Fig. 40.



demselben Sinne stattfindenden Drehungen in der Zeichnung verkehrt.

Nehmen wir an, es werde die Papierbelegung a_1 der Hälfte I der Maschine positiv elektrisch gemacht. Zufolge der influenzirenden Wirkung strömt aus dem Kamme b_1 negative Elektricität auf die Vorderseite der Hälfte I der Maschine; die abgestossene positive Elektricität fliesst in den mit b_1 verbundenen Saugkamm b_2, aus welchem sie durch die Spitzen auf die Vorderseite der Scheibe II überströmt. Eben diese Elektricität bewirkt eine elektrische

Vertheilung im Papierbelege a_2, indem die negative Elektricität aus der Papierspitze angezogen wird und auf die Rückseite der beweglichen Scheibe II strömt, während die abgestossene positive Elektricität in das Ende der Papierbelegung gelangt, also an eine Stelle, welche dem Saugkamme c_2 des diametralen Conductors $c_2\,d_2$ sehr nahe liegt. Während die erste Scheibe sich von b_1 über c_1 nach e_1 dreht, dreht sich die zweite Scheibe von b_2 über c_2 nach e_2. Betrachten wir zunächst die letztere Scheibe, so wird die von b_2 übergeströmte positive Elektricität, dem Kamme c_2 gegenüberstehend, aus demselben negative Elektricität anziehen, während die positive Elektricität nach d_2 abgestossen wird. Diese influenzirende Wirkung wird noch durch die Wirkung des positiv elektrischen Papierbeleges unterstützt. Entgegen diesen beiden Influenzwirkungen wirkt jene der von der Spitze s_2 negativ geladenen Hinterfläche der Scheibe II. Sind die beiden ersten Wirkungen gegen die letztgenannte sehr bedeutend, so kann es geschehen, dass die von c_2 ausgeströmte negative Elektricität nicht nur die positive Elektricität der Vorderseite der Scheibe II neutralisirt, sondern sich dort ansetzt. Beim fortgesetzten Drehen gelangen die elektrisirten Stellen des Glases dem Kamme e_2 und der Belegung h_2 gegenüber, dann gibt die negative geladene Hinterfläche der Scheibe ihre Elektricität an die Belegung h_2 ab. Diese wird also negativ elektrisch. Ebenso ladet sich die Belegung h_1 mit negativer Elektricität, da die von b_1 kommende negative Elektricität der Vorderseite der Scheibe I sowohl aus dem Kamme e_1, als auch aus der Papierspitze t_1 positive Elektricität anzieht, während die negative Elektricität nach h_1 abgestossen wird.

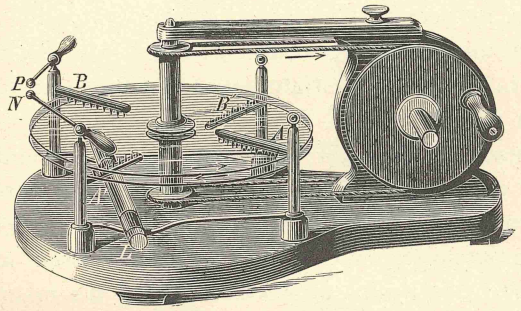
Es ist unschwer zu ersehen, dass in den Verbindungsdrähten der Kämme e_1 und e_2, ebenso von b_1 und b_2 keine Ströme fliessen; dies lässt sich auch aus dem Mangel jeglicher Lichterscheinung in Geissler'schen Röhren, welche in diese Ströme eingeschaltet sind, erkennen. Verbindet man aber zwei Stellen dieser Drähte durch eine Metallbrücke, so werden sich in derselben die von b_1 und b_2, ebenso jene von e_1 und e_2 ausgehenden Strömungen addiren. Es lässt sich dieser Vorgang vergleichen mit einem ganz analogen im Ringe von Pacinotti. Auch hier wirken an jenen Stellen des Ringes, welche um 90^0 von den inducirenden Magnetpolen abstehen, zwei gleiche Ströme einander entgegen und es wird ein solcher Ring stromlos sein. Nichtsdestoweniger kann man aber aus dem Stromwechsel an den erwähnten Stellen Vortheil ziehen, wenn man an die letzteren — wie es in den dynamoelektrischen Maschinen geschieht — metallene Schleifbürsten anlegt, welche die Ströme ableiten, und so kann in einem mit den Bürsten verbundenen Drahte ein ganz erheblicher Strom cursiren.

Die Holtz'schen oder Influenzmaschinen zweiter Art.

Wir wenden uns nun zur Beschreibung jener Gruppe von Elektromaschinen, welche von A. W. Holtz im Jahre 1867 zum erstenmale beschrieben wurden und bei denen man die fixen Scheiben und die Papierbelegungen ganz weggelassen hat. Man hat diesen Maschinen den Namen »Elektromaschinen zweiter Art« gegeben und dieselben gewöhnlich in der im Folgenden angegebenen Weise construirt:

Auf einer Axe können sich zwei gleich grosse, einander parallele Glasscheiben in entgegengesetzter Richtung drehen, was durch den aus der Fig. 41 ersichtlichen Schnurlauf erreicht wird. Oberhalb der aufwärts gekehrten Scheibe einander diametral gegenüber befinden sich zwei Saugkämme A und B, ebenso unterhalb der unteren Scheibe zwei andere Saugkämme A^1 und B^1, die ebenfalls auf demselben Durchmesser liegen, gegen die erstgenannten Kämme aber um 90^0 Winkelentfernung abstehen.

Fig. 41.



Wie man aus der Figur ersieht, sind die Kämme A und A^1, ebenso die Kämme B und B^1 durch Metallstäbchen in leitende Verbindung gesetzt. Diese beiden Leitersysteme gehen in Kugeln P und N aus, welche die Elektroden der Maschine sind. Die Isolirung der Kammträger und der Conductoren wird durch Ebonitstative vollzogen.

Um eine Elektromaschine zweiter Art zu erregen, bringt man die Conductorkugeln zur Berührung und dreht die Scheiben derart, dass z. B. die obere den Kamm A in jener Richtung passirt, in welcher sie sich

von dem Kamme A^1, der mit jenem verbunden ist, verlässt, während die untere vor dem Kamme B in jener Richtung vorbei geht, in welcher sie sich vom Kamme B^1 entfernt. Gleichzeitig nähert man einem der Kämme eine geriebene Hartgummiplatte. Bald vernimmt man ein eigenthümliches Brausen der Maschine, welches ihr Functioniren anzeigt; man kann nun die Ebonitplatte entfernen, und bei fortgesetzter Drehung der Scheibe entwickelt die Maschine Elektricitäten, die bei geöffnetem Auslader in Funken zwischen den Elektrodenkugeln sich ausgleichen. Gewöhnlich bringt man die letzteren in leitende Verbindung mit einem Condensations-Apparate, bei dessen Einschaltung der früher continuirliche Funkenstrom durch starke in grösseren Zeitintervallen auf einander folgende Funken ersetzt wird.

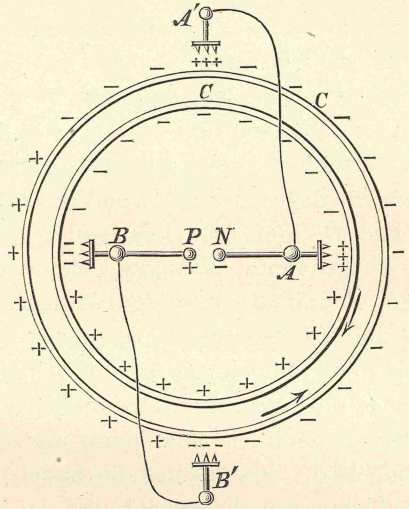
Dieser Condensator ist gewöhnlich in folgender einfachen, auch in der Figur dargestellten Form construirt: An den Enden einer Glasröhre L_1 befinden sich ringförmige Stanniolstreifen sowohl auf der Aussen- als auch Innenseite der Röhre aufgeklebt, wobei die inneren Belegungen durch einen die Röhre durchziehenden Stanniolstreifen mit einander verbunden sind. Man erkennt leicht, dass man so in der That zwei Leydnerflaschen cascadenartig mit einander combinirt hat, eine Methode, die auch im Früheren stets angewendet wurde.

Theorie der Elektromaschinen zweiter Art.

Wir stellen uns (Fig. 42) wieder — wie wir es schon mehrfach gethan haben — die Glasscheiben durch Cylindermäntel C und C^1 ersetzt vor, welche conaxial angeordnet sind. Die Drehungsrichtung ist entsprechend dem

oben Gesagten durch die in der Figur angezeigten Pfeile dargestellt. Nehmen wir an, es sei dem Kamme A eine geriebene Ebonitplatte gegenüber gebracht; dann wird die in A entwickelte Influenz-Elektricität erster Art, welche positiv ist, aus diesem Kamme ausfliessen, während die abgestossene negative Elektricität, d. i. die Influenz-Elek-

Fig. 42.



tricität zweiter Art, aus dem Kamme B, der noch mit A verbunden ist, auf die andere Seite des Cylinders, respective die andere Hälfte der Scheibe tritt.

Diese beiden Elektricitätsschichten wirken influenzirend auf die Kämme A^1 und B^1, die dem zweiten Cylinder, respective der zweiten Scheibe gegenüberstehen. Die von A auf den ersten Cylinder übergeströmte positive Elektricität kommt zunächst B^1 gegenüber, zieht

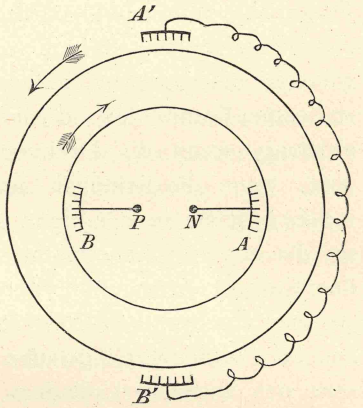
aus diesem Kamme negative Elektricität an, welche auf die Hinterseite des zweiten Cylinders strömt, während die abgestossene positive Elektricität durch den mit B^1 verbundenen Kamm B auf die Vorderseite des ersten Cylinders tritt. Diese Wirkung wird wesentlich durch jene unterstützt, welche die von A^1 auf die Hinterseite des zweiten Cylinders übergeströmte positive Elektricität auf den Kamm B, dem sie zunächst bei der Drehung gegenüberliegt, ausübt. Wir können sagen, die Elektricitätsschichten des äusseren Cylinders wirken auf die Kämme A und B so zurück, dass ein Strömen der Elektricität aus denselben in derselben Weise, wie ganz zu Anfang des Versuches erfolgt; ebenso wirken die Elektricitätsschichten des inneren Cylinders auf die Saugkämme A^1 und B^1 immer in derselben Weise und unterstützen die erstgenannte Wirkung. Es wird somit aus den Kämmen A und A^1 positive Elektricität, aus den Kämmen B und B^1 negative Elektricität ausfliessen und die nun getrennten Kugeln P und N werden sich bald auf einem hohen positiven, respective negativen Potentiale befinden. Bevor noch ein Maximum der Ladung eingetreten sein wird, was dann stattfindet, wenn sich zwischen der Elektricitäts-Erzeugung und der Elektricitäts-Zerstreuung ein Gleichgewichtszustand hergestellt haben wird, wird ein Anwachsen der Elektricitätsmengen in geometrischer Progression erfolgen.

Dreht man die Cylinder oder die Scheiben im entgegengesetzten Sinne, so hört die Maschine bald zu functioniren auf. Es strömt nämlich dann der Kamm B^1 positive Elektricität aus, der Kamm A^1 aber negative Elektricität, welche sich auf der Rückseite des zweiten

Cylinders ausbreiten. In dem Verbindungsdrahte $B^1 B$ fliesst in der Richtung von B^1 nach B negative Elektricität, in den Drahte $A^1 A$ in der Richtung von A^1 nach A positive Elektricität. Durch diese Elektricitäts-Strömungen werden aber jene neutralisirt, welche von den Saugkämmen A und B gegen die Conductorkugeln N und P stattfinden.

Von Interesse ist noch der Fall, in welchem man — wie in der Fig. 43 angegeben ist — die Saugkämme A^1 und B^1 mit einander durch einen Metalldraht verbindet. Bringen wir wieder dem Kamme A gegenüber eine geriebene Ebonitplatte, so wird aus demselben positive Elektricität ausströmen und aus dem Kamme B — wenn die Conductorkugeln in Berührung sich befinden — negative Elektricität. Bei der Drehung der Cylinder gelangen die elektrisirten Stellen des inneren Cylinders den Kämmen A^1 und B^1 gegenüber und es wird der Kamm A^1 positive und der Kamm B^1 negative Elektricität auf die Hinterseite des zweiten Cylinder überströmen. In dem Verbindungsstücke $A^1 B^1$ fliessen gleiche und entgegengesetzte Elektricitätsmengen, welche sich neutralisiren; eine in diesen Stromkreis eingeschaltete Geisslersche Röhre bleibt dunkel. Die auf der Hinterseite des

Fig. 43.



zweiten Cylinders angesammelten Elektricitäten bewirken, wenn sie den Kämmen A und B gegenüberkommen, ein in derselben Weise, wie früher, erfolgendes Ausströmen der Elektricitäten aus diesen Kämmen. Die Maschine functionirt auch in diesem Falle und man kann beim Entfernen der Elektroden zwischen denselben einen Funkenstrom erhalten.

Es ist — wie man aus der schematischen Darstellung der Wirkungsweise der Maschine erkennt — die Elektricitäts-Strömung zwischen den beiden Elektroden N und P der Maschine unabhängig von der Drehungsrichtung der beiden Scheiben. In dem Stabe oder Drahte jedoch, welcher die beiden dem äusseren Cylinder gegenüberstehenden Kämme leitend verbindet, ändert sich die Stromrichtung, wenn die Drehungsrichtung sich ändert. So wird, wenn die Scheiben sich in einem Sinne drehen, welcher jenem in der Figur angezeigten entgegengesetzt ist, die aus A übergeströmte positive Elektricität zuerst dem Kamme A^1 gegenübergeführt und verursacht ein Ausströmen von negativer Elektricität aus demselben, während aus dem Kamme B^1 positive Elektricität auf die Hinterseite des äusseren Cylinders fliessen wird. Es werden also die Lichterscheinungen, welche im Dunkeln an jenen Kämmen wahrzunehmen sind, sich umkehren; selbstverständlich wird der Verbindungsdraht $A^1 B^1$ auch jetzt noch stromlos sein.

Während in dem erstgenannten Falle, in welchem die Spitzenkämme A und A' einerseits, die Kämme B und B' andererseits leitend verbunden sind, die Elektricität, die auf beiden Cylindern sich absetzt, benützt wird, findet in jenem Falle, in welchem A' und B' mit einander

in Communication sind, nur eine Benützung der vor dem inneren Cylinder entwickelten Elektricität statt; es bietet somit diese Verbindungsweise keine Vortheile dar.

Wenn wir die elektrischen Verhältnisse der beiden einander gegenüberstehenden Cylinderflächen, respective Scheiben, betrachten, so finden wir in dem rechts oben und links unten befindlichen Quadranten gleichnamige Elektricitäten einander gegenübergestellt, während in den beiden anderen Quadranten ungleichnamige Elektricitäten einander gegenüberstehen. Diese Umstände können Veranlassung zu partiellen elektrischen Entladungen geben, welche man zuweilen an den Rändern der Glasscheiben beobachtet, wenn die letzteren einander sehr nahe sind. Derartige Phänomene hat bereits Holtz beobachtet.

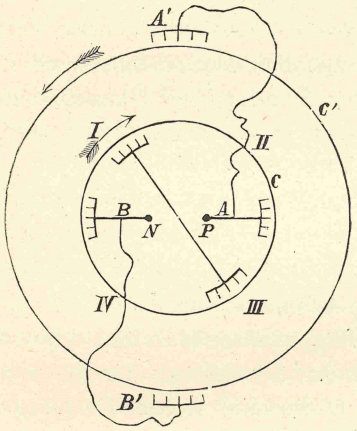
Es ist einleuchtend, dass die Elektromaschine zweiter Art bei demselben Durchmesser und unter sonst gleichen Verhältnissen doppelt so viel Elektricität erzeugt, als eine Elektromaschine erster Art, weil die Anzahl der Kämme in der erstgenannten Maschine doppelt so gross als in der zweiten ist. Die Menge der in einer bestimmten Zeit erzeugten Elektricität ist der Drehungsgeschwindigkeit der Scheiben proportional.

Anwendung von diametralen Conductoren bei den Elektromaschinen zweiter Art.

Zuweilen fügt man zu dieser Maschine einen fünften mit der Erde verbundenen Kamm oder auch einen leitenden Stab, der in zwei Saugkämme endigt und welcher einen analogen Effect hervorbringen soll, wie der diametrale Conductor der gewöhnlichen Influenzmaschine erster Art.

Der diametrale Conductor wird vor der Scheibe, oder in unserer schematischen Figur (Fig. 44) vor dem Cylinder *C* so angebracht, dass seine Kämme von den schon vorhandenen Kämmen um 45° abstehen; er hat die gezeichnete Lage. Erregt man die Maschine, etwa in der in der Figur angegebenen Weise, während die Conductorkugeln mit einander in Berührung sind, und entfernt dann diese von einander, so kann zufolge der Anhäufung der positiven Elektricität in *P* und der negativen in *N* keine Elektricität auf den inneren Cylinder (resp. die vordere Scheibe) ausströmen, und es muss nothwendigerweise die Influenzwirkung auf die hinteren Kämme geringer werden. Wenn man aber, bevor man die Conductorkugeln *N* und *P* trennt, den diametralen Conductor so anbringt, wie es die Zeichnung lehrt, so kann er nach Trennung der Kugeln von dem stärker elektrisirten zweiten Cylinder bedeutender influenzirt werden, als von dem ersten Cylinder, der sich allerdings näher dem diametralen Conductor befindet, aber schwächer elektrisirt ist; die Folge dieser Umstände wird sein, dass aus dem diametralen Conductor positive Elektricität in *I*, negative Elektricität in *III* auf die Vorderseite des ersten Cylinders überströmt, wodurch der letztere stärker ge-

Fig. 44.



laden wird und eine stärkere influenzirende Wirkung auf die Kämme *A'* und *B'* ausübt. In dem diametralen Conductor entsteht also eine positive Elektricitätsströmung in der Richtung *III—I* bei Trennung der Elektroden. Sind die Elektroden aber in Berührung, dann hat wegen der stärkeren influenzirenden Wirkung des inneren Cylinders der positive Elektricitätsstrom im diametralen Conductor die Richtung *I—III*. Also nur dann, wenn die Conductorkugeln *P* und *N* getrennt sind, wirkt der diametrale Conductor die Wirkung befördernd.

Nehmen wir an, der diametrale Conductor hätte die Lage, welche von der gezeichneten um 90° Winkelentfernung differirt, also die Lage *II IV*. In diesem Falle wirken beide Cylinder in demselben Sinne auf ihn influenzirend: es strömt aus *II* negative, aus *IV* positive Elektricität auf die Vorderseite des inneren Cylinders; dies wirkt aber auf den Austritt der Elektricität aus den Kämmen *A* und *B* wegen der Abstossung gleichnamiger Elektricitäten hinderlich; die Wirkung der Maschine nimmt dann rasch ab und hört bald ganz auf.

Hätte man dem diametralen Conductor eine Mittellage gegeben, welche dadurch charakterisirt ist, dass seine Saugkämme den Kämmen *A'* und *B'* gegenüberstehen, so strömen die Kämme des diametralen Conductors und die ihnen gegenüberstehenden Kämme, welche der Rückseite des zweiten Cylinders gegenüberliegen, die gleichen Elektricitäten aus und neutralisiren sich in ihren Wirkungen.

Dies zusammenfassend, können wir somit sagen: bei getrennten Conductorkugeln wirkt der diametrale Conductor nur dann vortheilhaft, wenn

er die Stellung *I III* besitzt; sowohl in der Stellung *II IV* als auch in verticaler Lage ist er der beabsichtigten Wirkung entschieden hinderlich, und die Maschine hört dann bald zu functioniren auf.

Man hat auch an der Elektromaschine zweiter Art Ladungsumkehrungen beobachtet (und zwar nach den an den Saugkämmen stattfindenden Lichterscheinungen), wenn in Folge zu grosser Entfernungen der Elektroden ein Ausgleich der Elektricitäten der letzteren unmöglich geworden ist; diesbezügliche Studien wurden von Pieruzzi im Jahre 1876 angestellt. Diese Umkehrungen finden langsam statt, wenn man mit den Elektroden Leydnerflaschen verbindet. Eine in dieser Weise ausgerüstete Maschine, bei welcher noch zwischen der einen Elektrode und der damit in Verbindung stehenden Belegung des Condensations-Apparates eine Geissler'sche Röhre eingeschaltet ist, wird, wenn sie gerade in dem Augenblicke angehalten wird, in welchem die Lichterscheinung in der Röhre verschwindet, bei weiterer Drehung in entgegengesetztem Sinne functioniren.

Die Elektromaschinen zweiter Art bieten der Construction ungleich grössere Schwierigkeiten als jene der ersten Art dar und zwar wegen der zwei Scheiben, die auf einer und derselben Axe im entgegengesetzten Sinne gedreht werden müssen. Man findet deshalb diese Maschine seltener und in relativ kleineren Dimensionen construirt. Es sind aber einige Modificationen auch an den Elektromaschinen zweiter Art vorgenommen worden; so hat unter anderen Musaeus eine solche Maschine angegeben, bei welcher vier Kämme an der vorderen, zwei Kämme

an der hinteren Scheibe sich befinden, die mit jenen der Vorderscheibe durch Metallbügel verbunden sind. Es befindet sich noch vor der vorderen Scheibe ein diametraler Conductor. Derartige Maschinen bieten nur rein theoretisches Interesse und deshalb wollen wir bei deren Beschreibung nicht länger verweilen.

Wir wollen am Schlusse unserer Beschreibung der Holtz'schen Influenzmaschinen erster und zweiter Art noch der Maschine von Schwedoff Erwähnung thun, welche als Doppelmaschine Verwendung fand; es ist die Construction dieser Maschine in mancherlei Beziehungen von jener der oben angeführten differirend und es mag dieser Umstand die Berücksichtigung dieser älteren Maschine rechtfertigen.

Maschine von Schwedoff.

Für die Wirkung einer Influenzmaschine wesentlich wichtig ist die Ladung der Papierbelegungen, welche von der rotirenden Scheibe zu den Cartonspitzen kommt. Die rotirende Scheibe wird nur auf ihrer Hinterseite elektrisirt, während die Cartonspitzen vor der Vorderfläche der Scheibe angebracht sind. Dadurch tritt eine Schwächung der Wirkung der rotirenden Scheibe ein, und dies umsomehr, je dicker die rotirende Scheibe ist. Da sowohl die Cartonspitzen als auch die Papierbelegungen schlecht leitend sind, so kann es geschehen, dass bei feuchtem Wetter, wenn die Oberfläche der festen Scheibe mit condensirtem Dampfe bedeckt ist, die Elektricität nicht in den Belegungen bleibt, sondern auf der festen Scheibe sich verbreitet. Es hat deshalb Schwedoff an einer von ihm (1871) con-

struirten Maschine die Cartonspitzen und Papierstreifen durch Metallkämme ersetzt, von denen zwei der rotirenden und zwei andere der festen Scheibe mit ihren Spitzen zugekehrt sind. Die Maschine wird dann für die erregende Ebonitplatte empfindlicher, ferner besitzt sie auch den Vorzug, dass man die Spannung an ihren Elektroden bis zu einer bestimmten Grenze beliebig steigern kann, in Folge dessen diese Maschine sich zur Ladung der Belegungen einer anderen Maschine vorzüglich eignet. Daher vereinigt Schwedoff auf einer Welle zwei Scheibenpaare, deren erstes zur Erzeugung grosser Potential-Differenzen dient, während das andere grosse Elektricitätsmengen hervorzurufen im Stande ist.

Die Glasscheiben in der Schwedoff'schen Maschine hatten einen Durchmesser von 18 Zoll; die rotirende Scheibe war kreisrund und es befanden sich hinter dieser oberhalb und unterhalb der Welle die festen Sectoren, welche so wie es in der Fig. 45 gezeichnet ist gestaltet waren; zwischen diesen Sectoren blieb ein freier Raum von ungefähr 2 Zoll Breite. Diesem Raume gegenüber befinden sich, mit den Spitzen der rotirenden Scheibe zugekehrt, zwei Saugkämme 1 und 6 (wir wählten wieder die bequeme Bertin'sche Darstellung Fig. 46), von welchen hinter die festen Sectoren zwei Drähte gehen, die an ihren Enden zwei verticale Kämme 2 und 5 tragen, während die früher erwähnten horizontal sind. Den Kämmen 2 und 5 gegenüber vor der rotirenden Scheibe stehen zwei verticale Kämme 3 und 4, die unter einander metallisch verbunden sind. Um die Maschine zu erregen, bringt man eine geriebene Ebonitplatte in den freien Raum zwischen den festen Sectoren hinter der

rotirenden Scheibe, es zieht dann die negative Elektricität der Ebonitplatte positive Elektricität aus dem Kamme 1, während die negative Elektricität nach 2 wandert. Beim Rotiren der Scheibe im angegebenen Sinne werden in den Spitzenkämmen 4 und 6 negative Elektricitäten, in den Kämmen 3 und 5 positive Elektricitäten erregt. Der zwischen den Kämmen 4 und 1 befindliche Theil der

Fig. 45.

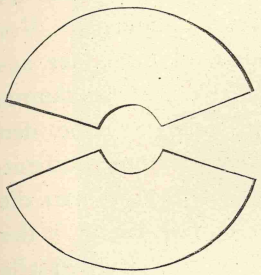
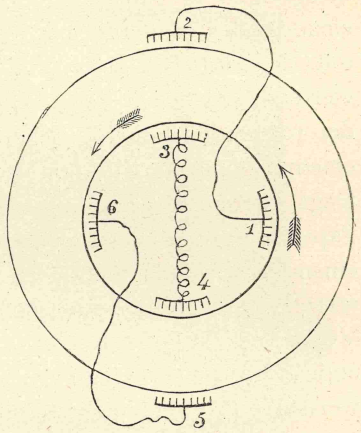


Fig. 46.



rotirenden Scheibe ist bei constanter Wirkung der Maschine negativ, der zwischen 3 und 6 befindliche positiv geladen. Will man die erzeugte Elektricität benützen, so bringt man mit den Kämmen 1 und 6 den Auslader in Verbindung.

Es werden somit in dieser Maschine statt Cartonspitzen und der mit ihnen verbundenen Belegungen vier Metallkämme benützt, deren zwei sich vor der elektrisirten Fläche der rotirenden Scheibe befinden.

Mit einer derart eingerichteten Maschine kann man grosse Spannungs-Differenzen erzielen.

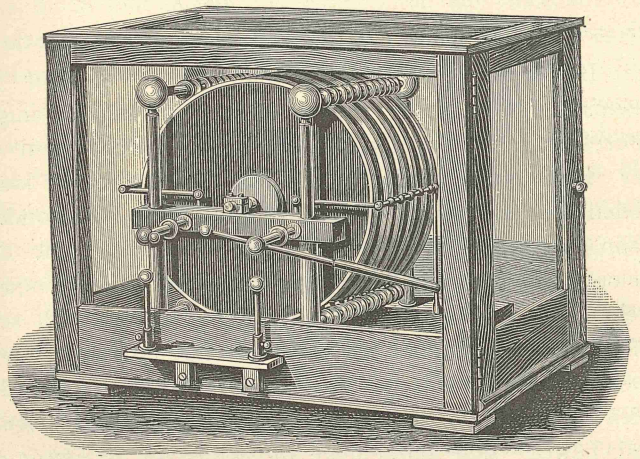
Zur Erzeugung sehr grosser Elektricitätsmengen verband Schwedoff diese erste Maschine mit einer zweiten ganz anders construirten. Bei letzterer befindet sich hinter einer festen ebenfalls aus zwei Sectoren bestehenden Scheibe eine runde drehbare Scheibe; auf der Oberfläche der festen Scheibe sind zwölf Papierbelegungen in radialer Richtung angebracht, die miteinander derart metallisch verbunden sind, dass die erste mit der dritten, fünften u. s. w., die zweite mit der vierten, sechsten u. s. w. Belegung communicirt. Vor der rotirenden Scheibe befindet sich ein Stern, der aus einem Ebonitringe besteht, welcher zwölf Metallkämme trägt, deren Spitzen vor der rotirenden Scheibe den Papierbelegungen gegenüberstehen. Diese Kämme sind miteinander ebenfalls metallisch verbunden. Bringt man die erste Belegung dieser Maschine mit dem Kamme 1 der Vorderseite in metallische Verbindung, so werden alle ungeraden Papierbelegungen negativ elektrisch; ebenso werden alle geraden Belegungen positiv elektrisch, wenn man sie mit dem Kamme 6 verbindet. Die Spitzenkämme des Sternes stehen diesen Belegungen gegenüber und es zerlegt sich in ersteren die neutrale Elektricität. Verbindet man nun einen der ungeraden Kämme mit einem der geraden, so erhält man beim Drehen der Maschine einen constanten Strom, der die Fähigkeit besitzt leicht Wasser zu zerlegen.

Die Schwedoff'sche Maschine, so sinnreich construirt sie ist, wurde weiter nicht angewendet, sie hat deshalb hauptsächlich nur theoretisches Interesse.

Combination mehrerer Holtz'schen Influenzmaschinen.

So wie man galvanische Elemente nebeneinander schaltet, d. h. die gleichnamigen Pole mit einander verbindet, wenn man die Quantität der Elektricität vermehren will, so hat man auch zuweilen mehrere Holtz'sche Influenzmaschinen so mit einander vereinigt,

Fig. 47.



dass die gleichnamig elektrisirten Spitzenkämme mit einander verbunden sind. In dem Stromkreise einer solchen Maschine fliessen dann bedeutende Elektricitätsmengen, welche man zu verschiedenen Versuchen benöthigt.

Eine solche ausserordentlich kräftige Holtz'sche Maschine, oder vielmehr eine Combination von solchen, wurde von Ladd construirt; sie hat (Fig. 47) 24 Ebonitplatten, von denen 12 fix, die anderen 12 drehbar eingerichtet sind; jede von diesen hat zwei Fuss im Durchmesser.

Die Maschine befindet sich in einem Glasgehäuse und es wird die Luft im Innern desselben durch concentrirte Schwefelsäure getrocknet. Die Drehkurbel und die Ausladearme sind ausserhalb des Gehäuses, so dass die Maschine in Function gesetzt werden kann, ohne das Gehäuse zu öffnen. Sie kann mittelst der Hand oder mittelst einer kleinen Dampfmaschine bewegt werden und gibt stets bedeutende Effecte.

Ueber einige Versuche mit der Holtz'schen Influenzmaschine.

Bevor wir zur Beschreibung einiger anderer Influenzmaschinen übergehen, wollen wir noch einiger interessanter Bewegungserscheinungen, welche man an der Holtz'schen Influenzmaschine wahrnehmen kann, gedenken. Es wurde früher erwähnt, dass insbesondere dann, wenn die Pole einer Influenzmaschine mit den Belegungen einer grossplattigen Batterie in Verbindung stehen, bei geöffnetem Auslader die Maschine sich sehr leicht entladen kann oder ihre Polarität umkehrt. Dreht man in diesem Falle die Maschine und lässt plötzlich den Riemen fallen, so kommt die Scheibe allmählich in Ruhe und bewegt sich dann über die Ruhelage in entgegengesetzter Richtung beschleunigt hinaus. Es wird nach einiger Zeit die Maschine ganz entladen sein.

Analoge Bewegungsphänomene kann man mit zwei Influenzmaschinen beobachten. Die eine von ihnen hat von einander entfernte Auslader und befindet sich im unelektrischen Zustande, die zweite Maschine functionirt und die Pole der letzteren stehen in leitender Verbindung mit den Saugkämmen der ersten Maschine. Bei einer derartigen Combination bewegt sich die früher ruhende

unelektrische Maschine in einer Richtung, welche der gewöhnlichen Drehungsrichtung dieser Maschine entgegengesetzt ist. Man kann aus diesem Versuche erkennen, dass mechanische Arbeit auf einem Umwege wieder in solche verwandelt wird. Die Elektricität der erregenden Maschine wurde durch mechanische Arbeit erzeugt und dient wieder dazu, um Arbeit zu erzeugen. Es kann somit auch mittelst der Combination zweier Influenzmaschinen eine Kraft von einem Orte auf einen anderen übertragen werden, ganz ähnlich wie es bei der Zusammenstellung zweier Dynamomaschinen der Fall ist.

Beobachtet man im Dunkeln die Lichterscheinungen, welche an den Spitzenkämmen zweier so verbundenen Maschinen auftreten, so zeigt sich, dass die beiden Maschinen mit ihren entgegengesetzt elektrischen Polen verbunden sind, dass also die Elektricitäts-Strömung den geschlossenen Stromkreis continuirlich passirt.

Würde man die entgegengesetzt bezeichneten Pole zweier in Function befindlichen Influenzmaschinen mit einander verbinden, so entspricht das dem Falle der Hintereinanderschaltung zweier oder mehrerer Elemente; es wird der Elektricitätsdebit nicht geändert, denn der Strom statischer Elektricität geht successive durch jede der Maschinen, die Potential-Differenz aber zwischen dem positiven Pole der ersten und dem negativen Pole der zweiten Maschine wird grösser als in dem Falle der Anwendung einer einzigen Maschine. Die Funken werden in diesem Falle länger; so konnte Professor Mascart, als er zwei Doppelmaschinen in der angegebenen Weise mit einander combinirte, Funken von 32 cm erhalten, während jede der beiden Maschinen für sich nur einen

Funken von 20 cm lieferte. Der Vortheil, den man aus einer derartigen Zusammenstellung ziehen kann, ist jedenfalls viel kleiner, als man nach der Theorie erwarten könnte, da die Isolirung sich meist zu unvollkommen erweist und mannigfaltige nicht beabsichtigte Elektricitätsübergänge eintreten.

Würde man zwei Holtz'sche Influenzmaschinen mit ihren gleichbezeichneten Polen leitend verbinden, so entspricht das dem Falle der Quantitätskuppelung von Elementen. Die elektromotorische Kraft erleidet keine Aenderung, der Elektricitätsdebit wird aber vergrössert.

Man braucht, um die Kraftübertragung mittelst der Influenzmaschine zu zeigen, nicht eine zweite derartige Maschine. Es genügt zu diesem Zwecke eine um eine Axe drehbare Scheibe von Ebonit oder gefirnisstem (auch ungefirnisstes Glas leistet gute Dienste) Glase anzuwenden und derselben an den Enden eines Durchmessers zwei Spitzenkämme gegenüberzustellen, durch welche man entgegengesetzte Elektricitäten von den Polen einer Influenzmaschine auf die Scheibe strömen lässt. Ein geringer Anstoss der letzteren reicht hin, um eine ziemlich schnelle in derselben Richtung erfolgende Rotation der Scheibe zu erzielen. Alle derartigen Bewegungen haben ihren Grund in der Abstossung der einzelnen Stellen der Scheibe durch die gleichnamige Elektricität des gegenüberstehenden Kammes und die Anziehung dieser Stellen durch die ungleichnamige aus dem anderen Kamme austretende Elektricität. Dass eine zu gleichen Theilen erfolgende Ausgleichung der Elektricitäten auf den beiden Scheibenhälften eintritt, ist begreiflich. — Es sind noch andere derartige Rotationsapparate construirt worden, die den Namen elektrische Tourbillons führen.

Die Erscheinungen der Rotation wurden von Holtz beobachtet und besonders von Poggendorff im Jahre 1870 zum Gegenstande eingehender Studien gemacht. Die diesbezüglichen Experimente wurden mannigfach variirt und bieten gegen die jetzt erwähnten principiell nichts Neues.

Neuere Maschinen von Professor Töpler.

Betrachten wir die früher beschriebenen Metallinductoren von Professor Töpler im Vergleiche mit den Holtzschen Maschinen, so erkennen wir augenblicklich einen wesentlichen Unterschied in der Wirkungsweise dieser Apparate: In den Töpler'schen Metallinductoren wird durch die influenzirende Wirkung der Elektricität einer feststehenden und immerwährend geladenen Platte auf einen gleichnamig influenzirten Stanniolstreifen die Spannung der in den Elektroden angehäuften Elektricität gesteigert; in den Holtz'schen Maschinen aber wird die an einer Stelle auf der Scheibe erregte Elektricität auf die an einer anderen Stelle befindliche erregende Belegung übertragen, und es wird auf diese Weise die Elektricität der Erregungsstelle und dann wieder die durch dieselbe inducirte Elektricität gesteigert. Auch in dieser Beziehung finden wir eine gewisse Analogie zwischen den Influenzmaschinen und den dynamoelektrischen Maschinen, in welch letzteren das berühmte Dynamoprincip von Siemens zur Anwendung kommt, nach welchem man z. B. als inducirenden Körper nur ein hufeisenförmig geformtes Stück unmagnetischen weichen Eisens zu nehmen

braucht und um dieses den Strom aus dem Inductor herumführt, wodurch es zu einem kräftigen Magnet gemacht wird und dann seinerseits wieder den aus dem Inductor heraustretenden Strom bedeutend verstärkt, wodurch es abermals stärker magnetisch wird, einen stärkeren Strom erzeugt u. s. w. Die geringste Menge Magnetismus, welche sich im weichen Eisenkerne vorfindet, kann auf diese Weise Veranlassung zu einem schwachen Strome im Inductor werden, der in der angegebenen Weise bald bedeutend vervielfacht wird.

Aehnliche Verhältnisse treffen wir in den Influenzmaschinen an, und in beiden Fällen ist es die aufgewendete Arbeit, welche zur Erzeugung von beträchtlichen Elektricitätsmengen dient. Wir werden übrigens an späterer Stelle diesen Verhältnissen einige Aufmerksamkeit widmen.

Töpler hat im Laufe der letzten Jahre Influenzmaschinen construirt, bei welchen mehrfache Erregungsstellen in Anwendung gebracht werden und durch welche die Hervorrufung verhältnissmässig grosser Elektricitätsquantitäten möglich ist. Auch andere Modificationen, die der Beachtung werth sind und schon mehrfach zur Construction von Elektrisirmaschinen das Princip abgaben, sind von ihm erdacht worden.

Die Grundsätze, auf welche die nun zu beschreibenden Maschinen basirt sind, kann man etwa in folgender Weise darstellen: Denken wir uns zwei Condensatoren, von denen (Fig. 48) der eine aus den Metallplatten A und B, der andere aus den Metallplatten C und D besteht und welche beide auf derselben isolirenden Stütze sich befinden. Wir bringen B und D in leitende Verbindung

mit dem Erdboden und laden A und C mit gleichen aber entgegengesetzten Elektricitäten, z. B. A positiv, C negativ elektrisch. Es nimmt dann die Platte B negative Elektricität an, während die Platte D sich positiv elektrisch ladet. Nun hebt man die Erdverbindungen auf und lässt etwa durch eine Drehung B und D ihren Platz vertauschen. Es befinden sich dann auf der linken Seite zwei positiv elektrische Platten, auf der rechten Seite zwei negativ elektrische Scheiben gegenüber. Die zur Verrückung der Platten nöthige Arbeit ist in eine höhere Spannung transformirt worden. Legt man nun wieder die Erdverbindungen an, so wird die Spannung ver-

Fig. 48.

nichtet und die aufgewendete Arbeit erscheint unter der Form von Entladungsfunken. Der Apparat ist wieder in den ursprünglichen Zustand gekommen und man kann den erwähnten Vorgang so lange wiederholen, als die Platten A und C überhaupt noch Elektricität besitzen.

Man kann aber auch in anderer Weise die ursprünglich ertheilten Ladungen multipliciren. Denken wir uns abermals die vorhin angegebenen Metallplatten A und C mit gleichen aber entgegengesetzten Elektricitäten geladen, B und D leitend mit dem Erdboden verbunden. Heben wir nun die Erdverbindungen auf und trennen die negative Elektricität enthaltende Platte von A, während C noch ferner D gegenübersteht. Wenn B von A entfernt wird, so wird die negative Elektricität auf der ersten

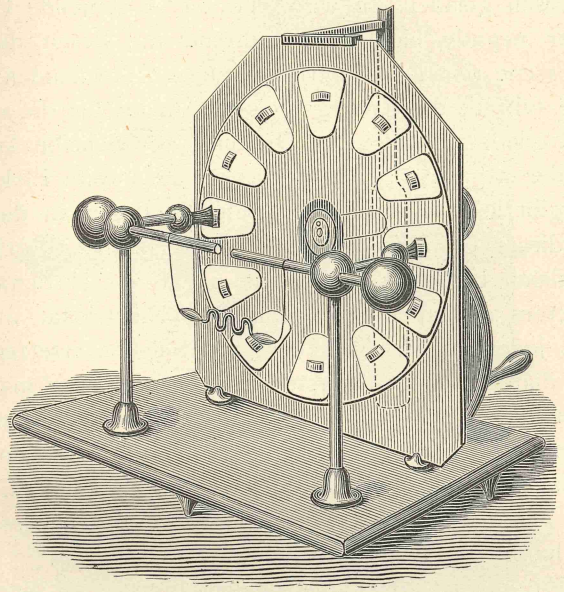
Platte frei und hat eine grössere Spannung als die negative Elektricität der Platte C, welche durch die positive der Platte D zum Theil gebunden ist. Verbindet man daher einen Augenblick B leitend mit C, so wird die negative Elektricität von B gegen C überströmen, bis die beiden Leiter auf demselben Potentiale sich befinden, und es wird somit die negative Ladung von C bedeutender. Ebenso kann man die positive Ladung von A verstärken; man braucht nur B wieder an seinen ursprünglichen Platz zu stellen und wieder mit der Erde leitend verbinden, sodann D von C trennen und letztere Platte D in Berührung mit A versetzen. Bei fortgesetzter Wiederholung dieser Operationen werden die Elektricitätsmengen auf A und C bedeutend anwachsen, und man könnte vom theoretischen Standpunkte aus diese Multiplication der Elektricitätsmengen bis ins Unendliche fortsetzen, wenn nicht die unausweichlichen Elektricitätsverluste nur zu bald eine Grenze setzen würden.

Man erkennt leicht, dass die Vorgänge im ersten und ebenso im zweiten eben geschilderten Falle der Ladungsvervielfältigung sich bequem vollziehen lassen werden, wenn man die Condensatoren so anbringt, dass sie sich auf einer isolirenden, sich drehenden Stütze befinden. Es lassen sich auch Anordnungen der Maschinentheile ersinnen, bei welchen beide Operationen nacheinander vollzogen werden, und in der That wurden derartige Apparate von Töpler construirt.

Eine Maschine, bei welcher nur die zuerst erörterte Methode der Elektricitätssteigerung vorgenommen wird, ist die folgende: Eine feste polygonale Glasplatte (Fig. 49)

trägt auf ihrer Rückseite zwei Stanniol- oder Papierbelegungen, welche als Inductoren wirken und das sind, was in den obigen theoretischen Auseinandersetzungen A und C waren. Auf einer beweglichen Glasscheibe, welche sich vor dieser Platte befindet, sind einige Stanniol-

Fig. 49.



sectoren aufgeklebt, von denen jeder einen kleinen metallischen Vorsprung hat, der sich im Sinne der Rotation nach beiden Seiten abdacht. Man kann diese Sectoren Uebertrager nennen, und es repräsentiren deren zwei diametral gegenüberstehende, welche sich den Inductoren oder Vertheilern gegenüber befinden, die in unseren theoretischen Betrachtungen mit B und D bezeichneten Metall-

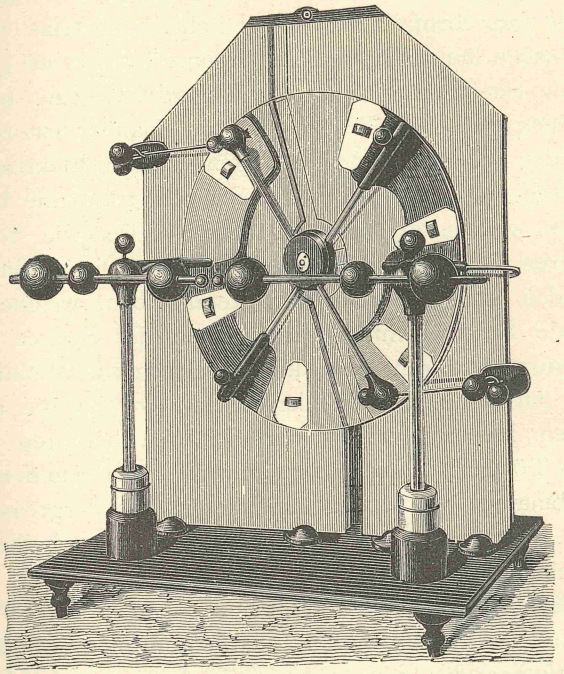
platten. Die in gewöhnlicher Weise eingerichteten Elektrodenkugeln tragen kleine Bürstchen oder Besen aus silberübersponnenen Fäden oder auch Schleiffedern, welche, sobald die Scheibe in Rotation gebracht wird, die Erhöhungen der Uebertrager berühren. Ist nun, wie es früher angegeben war, der Inductor A positiv, C negativ elektrisch geladen, so wird der vor A stehende Uebertrager negativ elektrisch, während die Besen die abgestossene positive Elektricität zur entsprechenden Elektrode führen; das Entgegengesetzte findet für die andere Elektrode statt. Bei der Drehung der Scheibe kommt nun der negative Uebertrager vor die zweite Elektrode und gibt seine Elektricität durch den Besen an dieselbe ab; dieser Uebergang wird noch wesentlich durch die Repulsion befördert, welche die negative Elektricität des Inductors B auf die gleichnamige Elektricität ausübt. Nach jeder halben Umdrehung der Scheibe ersetzen sich zwei diametral gegenüberstehende Sectoren, und man hat durch diese einfache Maschine genau den ersten der früher geschilderten Vorgänge realisirt. Zwischen den Conductoren zeigen sich lebhafte elektrische Funken, oder, wenn man eine Geissler'sche Röhre zwischen dieselben einschaltet, ein continuirlicher Elektricitätsfluss.

Es genügt, dass die beiden Inductoren eine nur geringe Potential-Differenz besitzen, um durch mechanische Arbeit die Maschine zu ihrer vollen Wirkung zu bringen; eine derartige Potential-Differenz besteht aber fast immer und man braucht die Maschine nicht eigens zu erregen; sie ist ein selbsterregender Apparat.

Die soeben beschriebene Maschine ist principiell der Holtz'schen Influenzmaschine sehr ähnlich; während

aber in der Töpler'schen Maschine die Inductoren der festen Scheibe auf die metallischen Sectoren wirken, laden die Belegungen in der Holtz'schen Maschine die Oberfläche der beweglichen Scheibe selbst, ferner werden

Fig. 50.



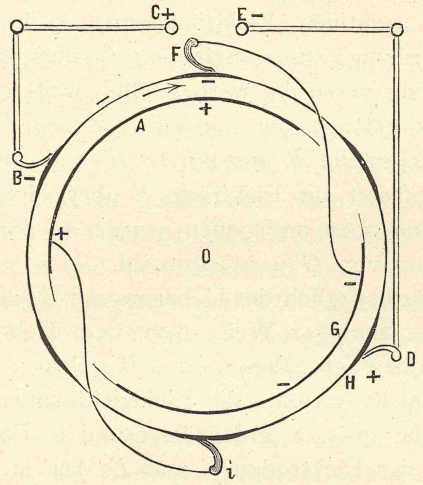
in der Töpler'schen Maschine die geladenen Stellen der Uebertrager mit Besen in Verbindung gesetzt, welche eine directe Elektricitätsableitung veranlassen, während in der Holtz'schen Maschine die Entladung durch die Saugkämme erfolgt.

Das oben auseinandergesetzte zweite Princip der Ladungssteigerung im Vereine mit der gewöhnlichen Anordnung der Holtz'schen Maschine hat Töpler in einer zweiten, durch Fig. 50 dargestellten Elektrisirmaschine, angewendet, welche er auf der Naturforscherversammlung zu Kassel (1878) zeigte. In dieser Maschine ist die fixe, ebenfalls polygonale Scheibe aus Glas, welche die beiden inducirenden Belegungen trägt, in zwei gleiche Theile zerschnitten, was den Zweck hat, eine bessere Isolirung der beiden Belegungen von einander herzustellen und den Uebergang der entgegengesetzten Elektricitäten zu verhindern. Die drehbare Scheibe trägt die Uebertrager, welche genau in derselben Weise, wie bei der früheren Maschine eingerichtet sind. Die Elektroden befinden sich am Ende von Metallstäben, welche horizontale Spitzenkämme tragen. Eine der Spitzen jedes Kammes ist durch einen kleinen Besen aus Metalldraht oder durch eine Schleiffeder ersetzt, welche die metallischen Hervorragungen der Sectoren berühren kann. Nach Töpler's Untersuchungen wird durch eine derartige Combination von Sauger und Bürsten eine Vergrösserung der Ladung erzielt. Vor der rotirenden Glasscheibe sind an einem schiefgestellten diametralen Glasstabe zwei Holzkugeln befestigt, die ebenfalls Besen oder Federn tragen, und letztere sind mit den hinter ihnen befindlichen Belegungen der fixen Scheibe in leitender Verbindung und können an den erhöhten Stellen der Uebertrager schleifen. Dreht man die in der Figur dargestellte bewegliche Scheibe dem Sinne des Uhrzeigers entgegen, so wird eine sehr schwache Ladung, welche den Belegungen zu Anfang des Versuches mitgetheilt wurde, vermehrt

und die Maschine fährt fort zu functioniren zufolge der Wirkung der Kämme.

Um das Spiel der Maschine zu erklären, diene uns die schematische Figur 51. Die Conductoren C und E gehen in die Besen B und H aus, welche an den Uebertragern schleifen; mit den beiden Belegungen A, G der

Fig. 51.



festen Scheibe sind die Träger der Bürsten F und i in Verbindung, welch letztere ebenfalls die Uebertrager berühren. Nehmen wir nun an, A sei positiv, G negativ elektrisch geladen; die positive Elektricität von A zieht die negative des Leitersystems BC nach B und stösst die positive Elektricität gegen C; genau in derselben Weise macht die negative Elektricität von G den Uebertrager H positiv elektrisch und stösst die negative Elek-

tricität in die Elektrode E. Beim Contacte der Elektrodenkugeln tritt eine Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten ein. Bei der Rotation der Scheibe in dem durch den Pfeil angedeuteten Sinne gelangt der negativ elektrisch gewordene Uebertrager (bei B) zur Bürste F und es wird, da die Spannung der Elektricität oder besser gesagt, das Potential auf der Belegung G in Folge der vertheilenden Wirkung von H geringer als in F ist, ein Theil der negativen Elektricitätsmenge in der Richtung FG zur negativen Belegung G übergehen, somit deren Ladung verstärkt werden. Bei weiterer Drehung der Scheibe gelangt die nur schwach negativ geladene Uebertragungsstelle F zur Bürste H und die negative Elektricität fliesst zur Elektrode E über, deren Ladung — wie schon oben angegeben wurde — durch die Influenzwirkung von G verstärkt wird.

Was wir bezüglich des Uebertragers B gesagt haben, gilt in ganz analoger Weise von dem Uebertrager H, wenn er zu den Schleifbesen i und B gelangt. Es werden, wie man leicht ersieht, die Elektricitätsmengen auf A und G immer grösser und grösser und in Folge dessen auch jene der Elektroden C und E. Da in der Regel die beiden Belegungen geringe Potential-Differenzen ohne weiteres Zuthun enthalten, so ersieht man, dass auch diese Maschine sich selbst erregen kann.

Wir haben in unseren jetzigen Betrachtungen nur die Rolle der Schleifbürsten, nicht aber jene der Spitzenkämme betrachtet. Die in B befindlichen Spitzen senden in Folge der von A ausgehenden Influenz auf die rotirende Scheibe negative Elektricität, während die positive Elektricität in die Kugel C abgestossen wird.

Die nun negativ elektrisch gewordenen Theile der Scheibe kommen nun nach einer halben Umdrehung gegen den Saugkamm H, ziehen aus demselben positive Elektricität, während die negative nach E übergeht. Man erkennt nun, wie diese Töpler'sche Maschine das Princip der Holtz'schen Influenzmaschine und das zweite der oben angegebenen Principe in sich vereint.

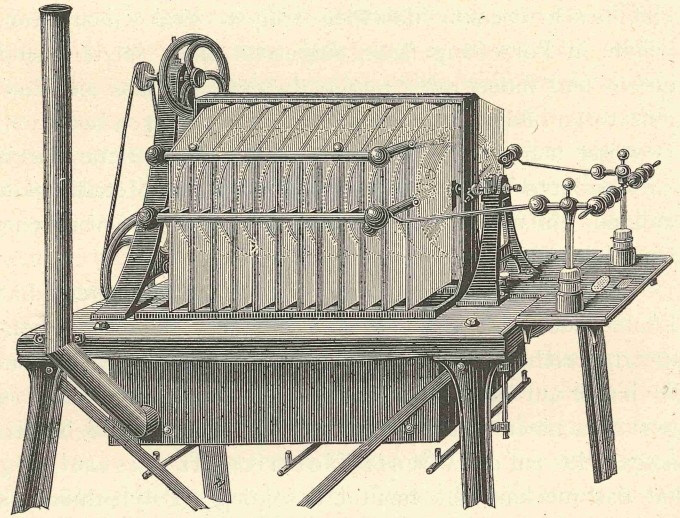
Die Glasstützen, welche die Conductoren dieser zuletzt beschriebenen Maschine tragen, sind Glasröhren, welche in Porzellangefässe eingesetzt sind; letztere sind aussen und innen mit Stanniol belegt, so dass sie Condensatoren bilden. Will man sich dieser letzteren bedienen, so stösst man in die Röhren Metalldrähte, welche durch die Conductorkugeln gehen und oben in Metallkugeln endigen, ein und stellt auf diese Weise eine Verbindung der Elektroden und Condensatoren her.

Zur Vergrösserung der Elektricitätsmengen hat Töpler nach den erwähnten Principien Maschinen construirt, welche eine beträchtliche Anzahl Platten enthielten. So hat er auf der elektrischen Ausstellung in Paris zwei Maschinen mit 20 und 60 sich drehenden Scheiben ausgestellt; auf der Wiener Elektricitäts-Ausstellung hat das mechanische Institut des königl. Polytechnicums in Dresden von Oscar Leuner eine Influenz-Elektrisirmaschine mit 20 rotirenden und eine zweite mit 30 rotirenden Scheiben nach dem Töpler'schen Systeme, beide mit Handbetrieb und mit Heizapparat versehen, exponirt.

Wir wollen diese grossen Töpler'schen Maschinen nun beschreiben: In der umstehenden Fig. 52 bemerken wir links eine Kurbel, mittelst welcher eine horizontale Axe gedreht werden kann. Auf derselben sind 20 Glas-

scheiben befestigt, die in gleichen Entfernungen von einander stehen. Zwischen den beiden ersten Scheiben befindet sich eine Doppelplatte, welche die Belegungen trägt; zwischen der zweiten und dritten Platte fehlt eine derartige Platte, zwischen der dritten und vierten ist sie wieder vorhanden und so fort, so dass also jede feste

Fig. 52.



Platte zwischen zwei rotirenden Scheiben steht. Die erwähnten Doppelplatten sind in der Regel so construirt, dass auf jeder Seite der Drehungsaxe je zwei aufeinander liegende Glasplatten stehen, zwischen welche die Papierbelegungen geklebt sind. Den fixen Scheiben entlang auf jeder Seite in der mittleren Höhe befindet sich ein langer Metallstab, welcher Doppelkämme trägt, die in

den zwischen je zwei rotirenden Scheiben befindlichen freien Raum ragen. Es werden diese Metallstäbe in leitende Verbindung mit den Elektroden der Maschine gebracht. Auf der Oberseite befindet sich in gleicher Weise ein zweiter Stab, welcher mit allen Belegungen verbunden ist, die auf dieser Seite vorhanden sind. Man hat so eine Reihe von einfachen Maschinen nach Quantität aneinandergekuppelt. Die erste und die letzte von diesen Maschinen sind ganz so eingerichtet, wie die in Fig. 50 dargestellte; sie hat bewegliche Sectoren (Uebertrager) und Schleifbürsten. Eine solche Maschine, wie die eben beschriebene, hat die Wirkung einer Holtz'schen Maschine mit 20 Scheiben.

Der ganze Apparat wird gewöhnlich in einen Glaskasten gebracht, der nur Oeffnungen zum Durchlasse der Elektroden besitzt; zur Aufnahme des entwickelten Ozons stellt man in den Glaskasten eine Schale mit Leinöl. Andererseits ist die Maschine auf einen Trockenofen gestellt, der durch Gasflammen geheizt werden kann; letztere brennen in der unter der Maschine vorhandenen Blechkammer, die mit einem Schornstein versehen ist.

Eine derartige Maschine, bei welcher die Scheiben einen Durchmesser von 26 cm haben, leistet schon sehr viel; sie liefert allerdings keinen grösseren Funken als eine einfache Maschine dieser Art, wie sie Fig. 50 zeigt, da die Kuppelung der einfachen Maschinen nach Quantität vollzogen wurde und in Folge dessen kein höheres Potential entsteht, die erzeugte Elektricitätsmenge aber ist sehr beträchtlich; der Funke, den eine solche Maschine liefert, kann eine Länge von $^1/_3$—$^1/_2$ des Durchmessers der Scheibe haben; die Elektricitätsmenge aber, welche

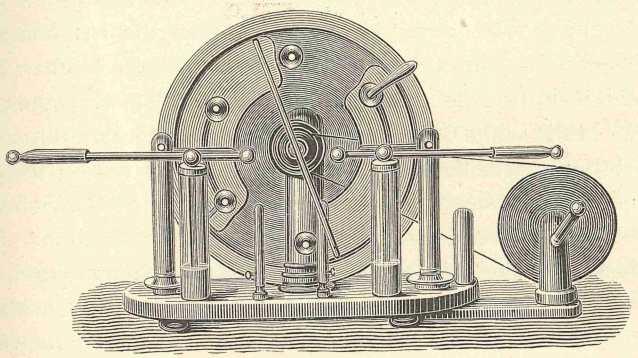
von der Maschine erzeugt wird, ist so gross, dass z. B. bei Anwendung einer Leydnerflaschen-Batterie von 18 Flaschen man nach je 0·6 Secunden sehr mächtige Entladungen erhält. Eine derartige Maschine soll*) bei 22 Umdrehungen in der Secunde (hierzu verwendet man gewöhnlich einen kleinen Wassermotor), wozu eine Arbeitsleistung von 4 Kilogrammmetern gehört, einen Strom von 0·0081 absoluten Einheiten liefern. Es wird ungefähr die Hälfte des Arbeitsverbrauches von 4 Kilogrammmetern in elektrische Processe verwandelt, von dieser Hälfte aber entfällt wieder nur ein Bruchtheil auf den Strom im Schliessungskreise. Es fällt also diese von Töpler dargestellte Vergleichung des Arbeitsumsatzes durch die dynamoelektrischen Maschinen mit dem durch seine Influenzmaschinen erreichten noch sehr zu Ungunsten der letzteren aus. Drei miteinander verbundene Töpler'sche Maschinen von je 20 Scheiben konnten von einem Manne noch gedreht werden und waren hinreichend zur 40-maligen Entladung (per Secunde) einer grossen Leydnerflasche durch eine Funkenstrecke von 1 cm; die Helligkeit des continuirlichen Lichtfadens war der von 1·4 Normalkerzen gleich. Genaue Messungen der Stromstärke haben gelehrt, dass die letztere fast in demselben Verhältnisse wie die Rotations-Geschwindigkeit zunimmt, aber abnimmt, wenn die Schlagweite wächst. Die bei den Entladungen der Maschine auftretende Energie ist eine relativ sehr bedeutende.

Man ersieht aus dem Vorstehenden, dass durch diese sinnreiche Combination der Töpler'schen Apparate mit

*) Wiedemann, »Die Lehre von der Elektricität«, 2. Bd., p. 227.

der Holtz'schen Influenzmaschine mächtige Elektricitätserzeuger entstehen, welche vor der Holtz'schen Maschine den grossen Vortheil haben, dass sie in trockener Luft functioniren können, ohne erregt zu werden. Ein Nachtheil dieser Maschinen ist die grosse Rotations-Geschwindigkeit, in welche die Scheiben versetzt werden und durch welche leicht eine Beschädigung einzelner Organe der Maschine eintreten kann. In Folge der von den Spitzen

Fig. 53.



der Kämme auf die Scheiben übergehenden Funken werden die letzteren mit der Zeit abgenützt und müssen von neuem mit einer Schellackschicht überzogen werden.

Vereinigte Holtz'sche und Töpler'sche Influenzmaschine von J. R. Voss.

Der Berliner Mechaniker J. R. Voss hat im Jahre 1880 eine Maschine construirt, in welcher ebenfalls das Princip der Holtz'schen und der Töpler'schen Maschine vereinigt ist. Diese Maschine ist der in der

Fig. 50 dargestellten Töpler'schen Maschine ganz ähnlich construirt und ist deshalb zuweilen auch als Copie der Töpler'schen Maschine betrachtet worden. Es ist dieselbe aber gegen die letztgenannte Maschine einigermassen modificirt, so dass ihre Einrichtung in aller Kürze dargestellt werden soll. Die Maschine hat die Form der Holtz'schen Influenzmaschine, es können aber die Scheiben, wenn wegen ungünstiger Luftverhältnisse die Maschine nicht in Function tritt, durch andere ersetzt werden, wodurch sie zu einer selbsterregenden Töpler'schen Maschine wird, deren Construction folgende ist: Die fixe Scheibe ist zum Unterschiede von der Töpler'schen Maschine ein Ganzes und besitzt die beiden Papierbelegungen der Holtz'schen Maschine; ausserdem befinden sich aber auf dieser Scheibe vier Stanniolbelegungen, wovon je zwei und zwei miteinander und mit zwei am Rande der Scheibe befestigten Messingstücken in Verbindung stehen. Die Messingstücke dienen als Träger für Gummibügel, in welchen Metallbürsten befestigt sind. Die drehbare Scheibe hat sechs Stanniolbelegungen, auf denen ebensoviele Messingvorsprünge vorhanden sind, an welchen die Metallbürsten reiben. Der doppelte Einsauger hat ebenfalls zwei Metallbürsten, welche gleichfalls an den Messingvorsprüngen reiben.

Die in der Luft befindliche freie Elektricität sammelt sich nun auf den Stanniolbelegungen. In Folge der Umdrehung der rotirenden Scheibe und dann auch zufolge der Berührung der Metallbürsten an den Messingvorsprüngen wird die auf ihr vorhandene Elektricität vermehrt und durch die früher erwähnten Bügel zur Papierbelegung der festen Scheibe geleitet, so dass die Maschine geladen wird.

Die vorhergehende Figur zeigt eine selbsterregende Influenzmaschine, wie sie von Voss von 26 cm Scheibendurchmesser bis zu 90 cm construirt wird. Es wurden auch Maschinen mit vier feststehenden und vier rotirenden Scheiben construirt, deren rotirende Scheiben den Durchmesser von 90 cm besitzen.

Wasser-Influenz-Elektrisirmaschine.

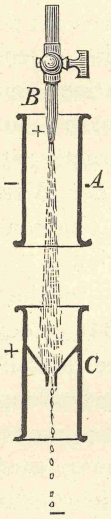
Wir beschreiben im Nachstehenden noch eine eigenthümlich eingerichtete Maschine zur Multiplication von elektrischen Ladungen, welche Sir W. Thomson im Jahre 1867 construirte, weil dieselbe sehr instructiv ist, wenn es sich darum handelt, das Princip der Verstärkung der Elektricität durch wechselseitige Influenz zweier Körper zu zeigen, die sich gegenseitig laden.

Um das Princip dieser Maschine einzusehen, denken wir uns, im Innern eines Metallcylinders (Fig. 54) A, der etwa negativ elektrisch ist, befinde sich eine Metallröhre B, die mit dem Erdboden in leitender Verbindung ist, und aus welcher aus einem Reservoir Flüssigkeitstropfen entweichen: durch influenzirende Wirkung wird die Röhre B positiv elektrisch, die negative Elektricität aber zur Erde abgeleitet. Die positive Elektricität wird durch die Flüssigkeitstropfen fortgeführt und wird von dem sogenannten Empfänger C, der isolirt aufgestellt ist, aufgenommen. Derselbe stellt wieder eine Metallröhre dar, die einen Trichter in sich schliesst, dessen Spitze sich ungefähr in der Mitte des Cylinders befindet. Da die Mündung des Trichters fast ganz von dem Metalle des Empfängers umgeben ist, sind die aus der

ersteren tretenden Wassertropfen fast frei von Elektricität. Man kann daher den Cylinder *A* als Inductor betrachten.

Die Elektricitätsmenge der Röhre *C* wird immer grösser, bis sich der Gleichgewichtszustand herstellt, der dadurch charakterisirt ist, dass die Elektricitäts-Vermehrung gleich der Elektricitäts-Zerstreuung ist. Es kann übrigens dahin kommen, dass die positiv elektrischen Tropfen von dem gleichnamig stark elektrisirten Empfänger derart abgestossen werden, dass sie nicht mehr in den letzteren gelangen, auch können zwischen den entgegengesetzt elektrischen Metallröhren *A* und *C*, wenn deren Potential-Differenz sehr gross geworden ist, Elektricitäts-Uebergänge in Form von Funken eintreten.

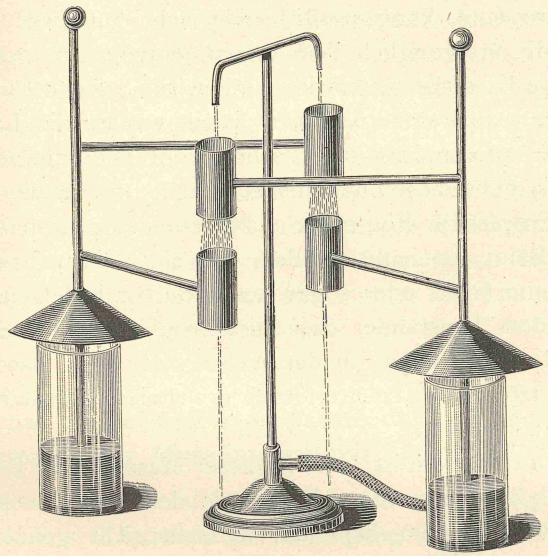
Fig. 54.



Um der Schwierigkeit enthoben zu sein, das Potential der inducirenden Röhre *A* durch eine äussere Elektricitätsquelle constant zu erhalten, hat man zwei Apparate von der eben erörterten Construction combinirt, welche gegenseitig ihre Ladungen vergrössern. Fig. 55 zeigt einen derartigen Apparat. Zwei in Kugeln endigende Metallstäbe sind an Bleicylinder festgemacht, welche in Glascylinder eingelegt oder eingekittet sind. Die Isolirung der letzteren muss eine sehr gute sein. Die Glascylinder sind, um das Benetztwerden mit Flüssigkeitstropfen zu verhindern, mit Schirmen versehen, welche die in der Fig. 55 angedeutete Gestalt besitzen. Jeder Metallstab trägt an zwei horizontalen in verschiedener Höhe befindlichen Armen einen Inductor und einen Empfänger der

oben angegebenen Art. Es steht immer der Inductor des einen Apparates über dem Receptor des anderen. An einem Stative befindet sich eine T-förmig gestaltete Röhre, welche durch einen Kautschukschlauch mit der Wasserleitung in Verbindung gesetzt wird und Flüssig-

Fig. 55.



keit durch die Inductoren in die Empfänger sendet. Es muss dafür gesorgt werden, dass der Wasserstrahl sich ungefähr in der Mitte der Inductoren in Tropfen auflöst.

Wenn man den Apparat laden will, so theilt man einer der beiden Kugeln, z. B. der links stehenden, etwas positive Elektricität mit; es wird der mit dieser Kugel verbundene Inductor ebenfalls positiv elektrisch, und wenn

man den Wasserzufluss nun in der angegebenen Weise regelt, werden die aus diesem Inductor tretenden Tropfen negative Elektricität in den darunter befindlichen Receptor des zweiten Apparates überführen. Dieser, sowie der mit ihm verbundene Inductor, welcher in der Figur links gezeichnet ist, werden also negativ elektrisch, der unter dem letztgenannten Inductor befindliche Receptor durch die Tropfenwirkung positiv elektrisch; auf diese Weise wird die ursprünglich dem ersten Apparate mitgetheilte positive Ladung verstärkt und wirkt wieder auf den zweiten Apparat zurück u. s. f. Es wächst die Ladung der Receptoren in geometrischer Progression mit der Zeit und es geht diese Zunahme so lange fort, bis die fallenden Tropfen in Folge der elektrischen Repulsion so von ihrer Bahn abgelenkt werden, dass sie nicht mehr in den Receptor fallen oder sogar den Inductor benetzen. Man kann dem Umstande, dass die Tropfen nicht mehr in den Receptor fallen, in der Weise vorbeugen, dass man den letzteren mit trichterförmig erweiterten Ansatzröhren aus Glas versieht.

Zu bemerken ist, dass in dieser Maschine die Energie der Elektrisirung von der Energie der in die Receptoren fallenden Tropfen herrührt; sie entspricht genau dem Verluste an lebendiger Kraft, welche die Tropfen bei ihrer Bewegung erleiden.

Die Glasgefässe, welche zur Aufnahme der Conductorstäbe dienen, sind nach der Construction von W. Thomson zu Leydnerflachen umgewandelt, indem er sie an der Aussenseite mit Stanniol bekleidete und in sie concentrirte Schwefelsäure giesst, welche die Bleiplatten umgibt. Die Schwefelsäure erfüllt den doppelten

Zweck: die in den Gefässen enthaltene Luft sehr trocken zu erhalten und andererseits die innere Belegung der Leydnerflasche zu vervollständigen. Bei vorzüglicher Isolirungsfähigkeit des Glases kann der Elektricitätsverlust in diesen Condensatoren kaum den hundertsten Theil in drei bis vier Tagen überschreiten.

Diese Wasser-Influenzmaschine zeichnete sich nicht durch Erzielung von grossen Potential-Differenzen aus, sondern einerseits dadurch, dass sie lange Zeit (auch Jahre hindurch) bei geringem Flüssigkeitsausflusse geladen blieb, andererseits dadurch, dass die geringste Potential-Differenz mittelst dieses Apparates vervielfältigt werden konnte. Sie kommt auch dann in Thätigkeit, wenn man ohne eigentliche Zufuhr von Elektricität das Wasser in der richtigen Weise fliessen lässt, denn die einzelnen Theile des Apparates haben fast immer verschiedene elektrische Potentiale.

c) Ueber einige andere Apparate, welche nach dem Principe der Metallinductoren construirt sind.

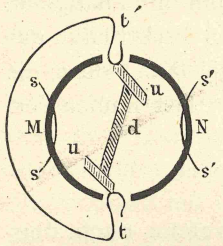
Wir wollen an dieser Stelle noch einiger Apparate gedenken, welche nicht zur Erzeugung von grossen Elektricitätsmengen von hohem Potentiale dienen, sondern dazu verwendet werden, entweder die Ladung eines Condensators auf einen gegebenen Werth zu bringen, oder um kleine Potential-Differenzen zu vervielfältigen. Bei den meisten dieser Apparate, welche zum grössten Theile von Thomson erdacht wurden, sind Uebertrager um eine Axe drehbar, die bei jeder Drehung in passende Stellung zu den Inductoren kommen; die leitenden Ver-

bindungen dieser Organe werden in der Weise bewerkstelligt, dass die Uebertrager mit den Inductoren durch Federn im geeigneten Zeitpunkte zur Berührung kommen. Das Princip, welches diesen Apparaten zu Grunde liegt, ist mit jenem der meisten Influenz-Elektrisirmaschinen so sehr verwandt, dass eine Beschreibung einiger diesbezüglicher Apparate hier am Platze sein dürfte.

Der Elektricitätsauffüller (Replenisher) von Thomson.

Diese Vorrichtung, welche Thomson gelegentlich der Herstellung seines absoluten Elektrometers erdachte, dient dazu, einen Condensator in einfacher Weise derart zu laden, dass dessen Potential constant bleibt. Er besteht (Fig. 56) im Wesentlichen aus zwei cylindrisch gekrümmten Leitern *M*, *N*, die aus einem ganzen Cylindermantel geschnitten wurden und beide an der Hohlseite mit Federn *s* und s_1 in Verbindung stehen; der eine dieser Leiter ist mit der inneren, der andere mit der äusseren Belegung eines Condensators, z. B. der beim absoluten Elektrometer vorhandenen Leydnerflasche, in Verbindung. Zwischen diesen beiden Conductoren befinden sich zwei andere Federn *t* und t_1, welche durch einen Metalldraht verbunden sind. An einem aus Hartgummi verfertigten Stabe, der in der Cylinderaxe sich befindet und mittelst eines Knopfes in dem einen oder anderen Sinne gedreht werden kann, befindet sich ein horizontaler Ebonitstab *d* befestigt, der zwei Metallplatten, die ebenfalls cylindrisch gekrümmt sind, trägt.

Fig. 56.



Nehmen wir an, der mit der inneren Belegung der Leydnerflasche in Verbindung stehende Leiter *N* sei positiv elektrisch und man drehe die beiden Metallflügel *u*, *u* in einem bestimmten Sinne, etwa dem Sinne des Zeigers einer Uhr entgegen. Schleifen die beiden Flügel an den Federn *s s* und s_1 s_1, dann sind sie im neutralen Zustande. Kommt das System der Metallflügel in die gezeichnete Stellung, dann nehmen sie unter dem influenzirenden Einfluss von *N* entgegengesetzte Elektricitäten an, der obere Metallflügel wird negativ elektrisch, der untere positiv elektrisch; bei weiterer Drehung gibt der erstere seine Elektricität an *M*, respective die äussere Belegung der Leydnerflasche ab, während der zweite unten gezeichnete Metallflügel seine positive Ladung an *N* abgibt, dessen Elektricitätsmenge somit verstärkt wird. Die Feder s_1 s_1 verlässt das unten gezeichnete *u* im neutralen Zustande und erleidet von neuem die eben erst beschriebene vertheilende Wirkung. Auf diese Weise wird das Potential von *N* und somit jenes der inneren Belegung der Flasche fortwährend vergrössert. Dreht man aber in entgegengesetzter Richtung, so wird eine fortwährende Verminderung des Potentials von *N* eintreten. Man kann auf diese Weise mittelst des Replenishers das für elektrometrische Versuche passende Mass der Ladung erhalten.

Die grosse principielle Aehnlichkeit dieses Apparates mit der früher beschriebenen Elektrisirmaschine von Varley tritt deutlich vor Augen.

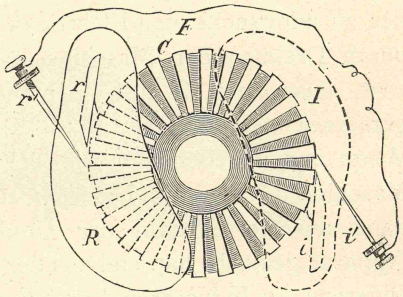
In der »elektrischen Mühle«, welche Thomson in Verbindung mit seinem für die unterseeische Telegraphie bestimmten Siphon-Recorder (Heberschreibe-

apparat) construirte und die den doppelten Zweck hat, alle Theile des Instrumentes in Bewegung zu setzen und gleichzeitig die elektrische Ladung der in diesem Instrumente gebrauchten Tinte zu unterhalten, treffen wir wieder das Princip des Replenishers. Als Motor betrachtet, ist die elektrische Mühle ein einfacher Froment'scher Motor, bei dem zehn Anker aus weichem Eisen, welche um eine horizontale Axe drehbar sind, successive durch einen Elektromagnet angezogen werden, der in oder ausser Wirksamkeit tritt, je nachdem die Rotation der Anker gewisse Contacte herstellt oder aufhebt. Als Elektrisirmaschine betrachtet, ist die elektrische Mühle ein Replenisher, wie er oben beschrieben wurde. Die zehn Eisenanker sind parallel zu den Erzeugenden eines Cylinders in einer Ebonitscheibe befestigt. Sie stellen die inducirten Theile eines Replenishers vor und drehen sich innerhalb zweier metallischer Halbcylinder, welche die Inductoren bilden. Die übrigen Theile des Apparates sind genau jene des gewöhnlichen Elektricitätsauffüllers und es ist deren Wirkungsweise genau dieselbe. Zwischen den beiden Inductoren wird constant eine sehr beträchtliche Potential-Differenz durch die Drehung der inducirten Theile des Apparates entstehen. Der eine von den Inductoren ist mit dem Erdboden direct verbunden, der zweite dient dazu, um die Tintenflüssigkeit constant elektrisch zu erhalten. Doch sei hier nebenbei bemerkt, dass die Verbindung mit dem zweiten Inductor keine directe ist und die Elektrisirung sich erst durch Influenz vollzieht. Es ist nämlich eine Spitze in leitender Verbindung mit diesem Inductor und befindet sich in einer gewissen Entfernung von einem Metallstücke,

das mit der Tinte leitend verbunden ist. Die Ladung der letzteren wird dann regulärer und constanter.

Die folgende Figur 57 zeigt einen derartigen Apparat. Die Metall-Lamellen sind von einander wohl isolirt und an Sectoren auf den beiden Seiten eines Ebonitrades C angebracht, das in dem von Thomson construirten Instrument nur 2 Zoll im Durchmesser hatte. I und R stellen zwei Metallblätter vor, welche nahezu die Hälfte des Rades umgeben. Wir können I als den Inductor, R den Receptor bezeichnen.

Fig. 57.



An den über dem Umfange des Eboniträdchens herausstehenden Sectoren schleifen die beiden Federn i und r, welche mit den metallischen Umhüllungen verbunden sind, um die auf den Sectoren erzeugte Elektricität dem Inductor und Receptor mitzutheilen. Die in der Figur ersichtlichen Federn i' und r', welche man Verbinder nennen kann, sind unter einander durch einen Metalldraht verbunden. Laden wir den Inductor I etwa positiv elektrisch, so wird i' negativ, die abgestossene positive Elektricität geht durch den Verbindungsdraht zur Feder r'. Drehen wir z. B. den Apparat dem Sinne des Uhrzeigers entgegengesetzt, so wird die von i' auf die metallischen Zähne des Rades übergetretene negative Elektricität im Sinne dieser Drehung fortgeführt und an die Schleiffeder r, somit an den Receptor R

abgegeben; ebenso erhöht die von r' auf die Zähne übergegangene positive Elektricität die Ladung von I. Wie allmählich eine Vermehrung der Ladung eintreten kann, ist nach dem Vorigen leicht zu ersehen. Eine Zambonische Säule von 40 Elementen, welche mit ihren beiden Polen an den Inductor I und Receptor R gefügt ist, genügt zur Ladung der Maschine vollständig.

Apparate der eben beschriebenen Art können im Vereine mit einem Elektrometer dazu dienen, geringe Potentiale von Elektricitätsmengen zu bestimmen. Man verbindet nämlich die Inductoren des Apparates mit der zu untersuchenden Elektricitätsquelle und vergrössert durch Drehung der Maschine die Potential-Differenz so weit, dass sie z. B. mit einem Quadranten-Elektrometer gemessen werden kann. Man kann auf experimentellem Wege nun angeben, um wie viel bei jeder Rotation der Maschine die Potential-Differenz zunimmt, und man kann dann aus der Anzahl der Umdrehungen, welche der Apparat gemacht hat, und aus der schliesslichen Potential-Differenz der Inductoren I und R desselben angeben, wie gross die Potential-Differenz dieser bei den Inductoren ursprünglich war. Es haben somit derartige Apparate in der Elektrometrie, die heutigentags bis zu einem hohen Grade der Vollkommenheit gelangt ist, grosse Bedeutung.

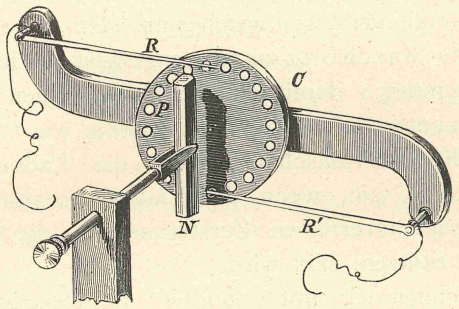
Auf eben denselben Principien beruht der nachfolgende, ebenfalls von Sir William Thomson angegebene Apparat.

Potentialausgleicher von Thomson.

In diesem Instrumente dreht sich eine Scheibe aus Hartgummi um eine durch ihren Mittelpunkt gehende zur Scheibenebene senkrechte Axe. Sie ist in der Nähe ihres

Umfanges mit Metallknöpfen versehen, an welchen zwei Federn schleifen, deren Enden zu einem Elektrometer geführt sind. Nehmen wir an, die beiden Federn seien gleichzeitig der influenzirenden Wirkung zweier mit Elektricität beladenen Conductoren, die aber ein verschiedenes Potential besitzen, ausgesetzt, dann wird nach einer bestimmten Zeit ein elektrischer Gleichgewichtszustand eintreten; es wird nämlich die von der einen Feder entfernte Elektricität auf die andere Feder übertragen und es wird

Fig. 58.



nach Erreichung des Gleichgewichtszustandes die Potential-Differenz der beiden Federn, welche identisch mit dem Potential-Unterschiede der beiden Elektroden des Elektrometers ist, jener der beiden influenzirenden Körper proportional sein. Unsere Figur (Fig. 58) zeigt den Versuch, mittelst dessen man die Potential-Differenz an den Enden eines Turmalinkrystalls, den man erwärmt und dann abgekühlt hat, und der, wie man weiss, an den beiden Enden dann elektrisch different wird, bestimmen kann. Es sind noch mehrere Apparate dieser Art, welche bei elektrometrischen Versuchen gute Dienste leisten, con-

struirt worden, doch würde eine Beschreibung der Einrichtung und Wirkungsweise derselben die dem Buche gestellten Grenzen überschreiten. Der sich für diese Gegenstände interessirende Leser sei auf das erwähnte Werk von Thomson über Elektrostatik und Magnetismus verwiesen.

Bedingungen für die Zunahme der Ladung in den sogenannten Multiplications-Maschinen.

Zum Schlusse dieser Betrachtungen sollen noch die Bedingungen angegeben werden, welche in den Influenzmaschinen von Holtz und Töpler, in den zuletzt angegebenen Metallinductoren, welche unter dem Namen Multiplications-Maschinen zusammengefasst werden können, erfüllt sein müssen, damit die Ladung zunehmen könne. In den sogenannten Additionsmaschinen, wie z. B. in den Reibungs-Elektrisirmaschinen, wird die Ladungsgrenze dann erreicht sein, wenn die Ladungszunahme gleich den Elektricitätsverlusten (Zerstreuung in die Luft und durch die Stützen) sein wird.

Bezeichnen wir mit C und C' die elektrischen Capacitäten der beiden Elektricitätssammler oder Collectoren (z. B. der beiden Metallumhüllungen I und R in der elektrischen Mühle, Fig. 57), deren Potentiale seien V und V'; nennen wir ferner die Capacitäten der Uebertrager c und c' und n und n' die Anzahl der Operationen, welche in der Zeiteinheit ausgeführt wurden.

In einer sehr kleinen Zeit τ wird der Collector C einen Zuwachs an Elektricität dadurch erhalten, dass der vom Collector C' kommende Uebertrager seine Elektricitätsmenge an ihn abgibt; er wird aber auch einen Elektricitätsverlust erleiden und zwar durch Elektricitäts-

Zerstreuung; derselbe kann, wenn sein Potential einen nicht zu grossen Werth besitzt, demselben proportional gesetzt werden und wird somit etwa αV sein, wenn α ein Proportionalitäts-Factor ist. Nennen wir das Potential des Collectors C nach der Zeit τ z. B. v, so ist nach dem, was auf Seite 6 gesagt wurde, die Zunahme der Elektricitätsmenge $Cv - CV = C(v - V)$.

Andererseits ist die von dem Uebertrager c' in der Zeiteinheit dem Collector C zugeführte Elektricitätsmenge $n' c' V'$, somit jene in der Zeit τ zugeführte Elektricitätsquantität $n' c' V' \tau$; die in dieser Zeit durch Zerstreuung verloren gegangene Elektricität ist $\alpha V \tau$. Man hat demnach die Gleichung:

$$C(v - V) = n' c' V' \tau - \alpha V \tau \text{ oder}$$

$$C \frac{v - V}{\tau} = n' c' V' - \alpha V \quad \ldots \quad (1)$$

Für den zweiten Collector ergibt sich die ganz analoge Gleichung:

$$C' \frac{v' - V'}{\tau} = n c V - \beta V' \quad \ldots \quad (2)$$

wenn v' das Potential dieses Collectors nach der Zeit τ bedeutet, wenn ferner für denselben der Zerstreuungs-Coëfficient β ist; derselbe hängt nämlich unter Anderem von der Gestalt des betreffenden Conductors ab.

Ein Wachsen der Ladungen tritt nur dann ein, wenn die linken Seiten der beiden Gleichungen (1) und (2) positiv sind, d. h. wenn

$$n' c' V' > \alpha V$$

und $n c V > \beta V'$ ist.

Durch Multiplication dieser Ungleichungen erhält man nun die gesuchte Bedingung: $n n' c c' > \alpha \beta$.

Bei fast allen Multiplications-Apparaten, wenigstens allen, die wir im Vorstehenden betrachtet haben, existirt vollständige Symmetrie; es sind die Collectoren unter einander gleich, ebenso die Uebertrager und letztere vollführen in gleichen Zeiten eine gleich grosse Anzahl Operationen. Aus diesem Grunde hat man:

$$C = C'$$
$$c = c'$$
$$n = n'$$
$$\alpha = \beta$$

und die vorige Bedingung nimmt die einfachere und übersichtlichere Form: $n\,c > \alpha$ an. Ist also diese Ungleichung erfüllt, dann wächst die Ladung der Maschine fortwährend. Es werden der Ladung nur Grenzen durch das Ueberspringen von Funken zwischen elektrisch differenten Theilen der Maschine gesetzt. Würde hingegen $n\,c < \alpha$ sein, dann würde die Ladung der beiden Collectoren rapid abnehmen und bald Null werden. Wir haben im Vorstehenden diese einfache theoretische Betrachtung unter der Voraussetzung des Gesetzes, dass die Elektricitäts-Zerstreuung dem Potentiale des Conductors proportional ist, eines Gesetzes, welches bereits von Coulomb durch vielfache Versuche bestätigt wurde, geführt. Es gilt dasselbe jedoch nur für kleine Ladungen, für grössere auf den Conductoren angehäufte Elektricitätsmengen findet die Elektricitäts-Zerstreuung in stärkerem Grade statt, als es nach Coulomb's Gesetz der Fall wäre. Es ist daher unsere obige Rechnung nicht vollkommen genau und es würde eine Uebereinstimmung zwischen Theorie und Experiment nur dann eintreten, wenn die Ladung der Collectoren noch immer dem Coulomb'schen Gesetze

entsprechend gering wäre. Es wird jetzt auch leicht begreiflich sein, dass die Leydnerflaschen, welche man z. B. mit den Conductoren einer Holtz'schen Influenzmaschine in Verbindung setzt, die Erfüllung der oberen Bedingung

$$n\,c > \alpha$$

fördern. Denn durch die gegenseitige Bindung der Elektricitäten auf der Aussen- und Innenseite der Leydnerflaschen wird die Zerstreuung der Ladung sehr vermindert und es wird der Zerstreuungs-Coëfficient einen nur geringen Werth besitzen. Man ist also im Rechte, wenn man den mit den Elektroden verbundenen Condensatoren eine Hauptrolle in der Wirkungsweise der Maschine zuschreibt.

d) Bemerkungen über die Menge der durch die verschiedenen Elektrisirmaschinen erzeugten Elektricität, über die Messung derselben und der dabei aufgewendeten Arbeit und Vergleichung einiger häufig gebrauchten Maschinen.

Bei einer Elektrisirmaschine kommen zwei wesentliche Punkte in Betracht, es ist das der sogenannte Debit der Maschine, d. i. jene Elektricitätsmenge, welche in einer Secunde durch den Conductor, den man mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt denkt, fliesst, andererseits das grösste Potential, welches dieser Conductor erreichen kann. Man kann im Allgemeinen sagen, dass die Elektrisirmaschinen Elektricitätsquellen sind, die ein hohes Potential und einen kleinen Debit besitzen. Um sich von der Grösse des Potential-

werthes, welcher von der Gestalt der Maschine, der Isolirung der Conductoren und demzufolge dem hygrometrischen Zustande der umgebenden Luft und schliesslich von der aufgewendeten Arbeit abhängt, einen Begriff zu machen, erwähnen wir das interessante von Thomson angegebene Resultat, dass gute Reibungs-Elektrisirmaschinen, welche Funken von 3 cm liefern, ein Potential besitzen, welches fast jenem einer Säule von 80.000 bis 100.000 Daniell'schen Elementen gleichkommt. Bei manchen Maschinen kann dieser Potentialwerth wohl auch überschritten werden.

Nicht nur bezüglich der erreichbaren Potentialwerthe unterscheiden sich die im Vorhergehenden beschriebenen Generatoren hochgespannter Elektricität von den galvanischen Ketten, auch in Bezug auf die erzeugbaren Elektricitätsmengen treffen wir einen wesentlichen Unterschied zwischen diesen Gruppen elektrischer Maschinen an.

Die zur Erzeugung von Elektricität in den Elektrisirmaschinen dienliche Arbeit ist eine von Aussen zugeführte, und bei Steigerung derselben wird im Allgemeinen auch der Elektricitätsdebit ein bedeutenderer. Während — so lange eine Elektrisirmaschine noch nicht erregt ist — die zur Drehung der Scheibe erforderliche Arbeit eine geringe ist, steigert sich dieselbe sehr, wenn die Maschine zu functioniren beginnt, da elektrische Kräfte überwunden werden müssen; beim Entfernen der Elektrodenkugeln wird die in die Maschine verwendete Arbeit noch grösser, weil nun auch auf den Elektroden eine bedeutende Potential-Differenz hergestellt werden muss, damit die zwischen den Elektroden befindliche Luftstrecke von Funken durchsetzt werde.

Eine galvanische Batterie verhält sich in dieser Beziehung ganz anders. In derselben wird eine ganz bestimmte Leistung durch die chemischen Kräfte der Kette erzielt; sie lässt sich bei gegebenem Schliessungskreise weder verstärken noch vermindern; äussere Arbeitsleistungen vermögen keine Modification in dem Elektricitätsdebit der galvanischen Kette zu erzielen. Wir werden aber auch später erwähnen, dass die Beziehung zwischen der Arbeitsleistung und der Stromintensität bei den Reibungs- und Influenz-Elektrisirmaschinen ganz anderer Art ist als bei einer galvanischen Kette.

Die von einer Reibungs-Elektrisirmaschine in einer bestimmten Zeit erzeugte Elektricitäts-Quantität ist unter sonst gleichen Umständen der Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe proportional. Man hat aber diesbezüglich die Bemerkung gemacht, dass der Elektricitätsdebit merklich kleiner wird, wenn das Potential des Conductors zunimmt. Derartige Versuche wurden in der folgenden Weise angestellt: Man brachte den Conductor einer Elektrisirmaschine mit dem Erdboden durch einen Schliessungskreis in Verbindung und schaltete in denselben eine Lane'sche Massflasche*) und veränderte die Schlagweite derselben; dabei bestimmte man die Entladungen der Flasche für eine gewisse Anzahl von Rotationen der Scheibe. Es zeigt sich dann, dass der Elektricitätsdebit, der in Wirklichkeit gleich dem Producte aus der Anzahl der Entladungen der Massflasche und der Potential-Differenz ist, welche zu deren Hervorrufung erfordert wird und die in einer Weise bestimmt werden kann, auf

*) Beschrieben in den »Grundlehren der Elektricität« von W. Ph. Hauck (p. 42, Elektro-technische Bibliothek, Bd. IX).

die wir hier nicht eingehen können, geringer wird, wenn die Schlagweite der Lane'schen Massflasche, somit die Potential-Differenz, grösser wird.

Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch bei den Holtz-schen Influenzmaschinen; auch bei diesen wird, wenn die Schlagweite, somit der Potential-Unterschied der beiden Elektroden zunimmt, die Elektricitäts-Erzeugung der Maschine geringer, und man erkennt dies schon an dem schwächer werdenden Brausen der Maschine, wenn die Elektrodenkugeln auseinandergezogen werden, und an den Lichterscheinungen, welche am positiven Kamme im Dunkeln recht gut sichtbar sind.

Mit grosser Ausführlichkeit hat Rosetti im Jahre 1873 untersucht, welche Beziehungen zwischen der gelieferten Elektricitätsmenge und der consumirten Arbeit bei einer Holtz'schen Influenzmaschine bestehen. Er mass den von der Elektrisirmaschine gelieferten Strom mittelst eines Galvanometers seiner Stärke nach und konnte den Widerstand des Stromkreises dadurch variiren, dass er in demselben vier parallele, ungefähr 1580 mm lange, mit destillirtem Wasser gefüllte Glasröhren einschaltete. Aus diesen Versuchen ergab sich, dass die zur Elektricitäts-Erzeugung dienliche Arbeit immer der Stromstärke proportional ist. Die letztere ist auch der Umdrehungs-Geschwindigkeit der beweglichen Scheibe proportional, jedoch nicht genau; sie nimmt ein wenig rascher zu.

Von Interesse sind die Beobachtungen, welche Rosetti über die Beziehungen zwischen der in einer bestimmten Zeit erzeugten Elektricitätsmenge und dem Feuchtigkeitsgrade der Luft gemacht hat. An Tagen, an welchen der relative Feuchtigkeitsgehalt der Luft ein

bedeutender ist, wird eine grössere Elektricitätsmenge bei gleicher Arbeit und eine kleinere bei gleicher Drehungsgeschwindigkeit entwickelt.

Rosetti hat die Ströme einer Holtz'schen Influenzmaschine mit jenen eines galvanischen Elementes verglichen und nachgewiesen, dass die Stromstärke bei derselben Rotations-Geschwindigkeit fast im umgekehrten Verhältnisse des Widerstandes des zugefügten Stromkreises und einer Grösse steht, welche er den inneren Widerstand der Influenzmaschine nennt; er stellt für den Strom einer solchen Maschine die Formel von Ohm auf, welche bekanntlich

$$i = \frac{E}{W + w}$$

lautet, wenn E die elektromotorische Kraft, W den inneren, w den äusseren Widerstand bedeutet und i die Stromintensität ist. Unter Zugrundelegung dieses Gesetzes fand er aus seinen Versuchen, dass die elektromotorische Kraft unter sonst gleichen Umständen von der Drehungsgeschwindigkeit unabhängig ist, aber um eine kleine Grösse abnimmt, wenn der Feuchtigkeitsgehalt der Luft grösser wird. Nach Rosetti's Beobachtungen war die elektromotorische Kraft der von ihm verwendeten Maschine, wenn sie ihre grösste Wirkung gab, 50.000mal grösser als jene eines Daniell'schen Elementes, wenn in beiden Fällen die umgebende Luft sehr trocken war.

Was den inneren Widerstand der Maschine betrifft, so findet Rosetti denselben abnehmend, wenn die Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe zunimmt, und zwar zuerst schnell, dann langsam.

Jedenfalls sind diese Untersuchungen von Interesse, weil durch sie dargethan wird, dass die Elektrisirmaschinen nicht — wie man früher oft glaubte — Elektricitäts-Generatoren sind, bei denen die Stromstärke vom Widerstande des Schliessungskreises unabhängig ist. Schon Ampère und Gauss haben nämlich das merkwürdige Beobachtungsresultat bekannt gemacht, dass, wenn man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit dem Erdboden leitend verbindet und in den Schliessungskreis ein Galvanometer einschaltet, die Ablenkung desselben dieselbe bleibt, wenn die Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe constant erhalten wird, auch wenn man den Widerstand des Schliessungskreises variirt. Nach dem, was wir im Obigen erwähnt haben, darf uns diese Erscheinung jedenfalls nicht Wunder nehmen, denn wir sahen, dass eine Differenz der Entfernung der beiden Elektrodenkugeln von einigen Millimetern im Elektricitätsdebit keine wesentlichen Aenderungen hervorruft. Es ist aber der Widerstand auch einer dünnen Luftschichte so bedeutend, dass Widerstände, die wir durch Einschaltung von Drähten in den Stromkreis erzeugen, gegen diesen ganz unbeträchtlich sind, und wenn sie nicht sehr gross werden, die am Galvanometer abgelesene Stromstärke, d. i. die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt fliessende Elektricitätsmenge, nicht beeinflussen. Die von Rosetti gewählten Widerstände (Säulen von destillirtem Wasser) üben, wie wir eben gehört haben, einen wohl zu messenden Einfluss auf die Stromintensität aus.

Wiedemann tritt in seinem grossen Werke über Elektricität diesen Anschauungen entgegen. Er geht in seinen Betrachtungen von der experimentell erwiesenen

Thatsache aus, dass die Arbeitsleistung bei den Reibungs- und Influenz-Elektrisirmaschinen nicht so wie bei dem galvanischen Elemente dem Quadrate der Stromstärke, sondern schlechthin dieser letzteren selbst proportional ist, und schreibt diese Erscheinung einem discontinuirlichen Ausgleiche der auf der Scheibe der Maschine und den Conductorkämmen befindlichen Elektricitäten zu, in Folge dessen durch die Leitung die Elektricität nicht continuirlich abfliesst, sondern in rasch aufeinanderfolgenden Intervallen. Dass es sich so verhält, lehren die in einem rotirenden Spiegel auftretenden Lichterscheinungen. Es wäre darnach der Strom eines galvanischen Elementes mit jenem einer Elektrisirmaschine nicht in dieselbe Linie zu stellen.

Verschiedene Physiker haben weitere Messungen der Leistungsfähigkeit der Influenzmaschine ausgeführt; so hat Kohlrausch die Stromstärke einer Holtz'schen Influenzmaschine mit zwei Papierbelegungen, deren drehbare Scheibe 40 cm Durchmesser hatte, für den Fall bestimmt, als sie das Maximum ihrer Wirkung hatte; es zeigte sich, dass der Strom einer solchen Maschine erst in 40 Stunden im Stande wäre, einen Kubikcentimeter Knallgas im Voltameter zu erzeugen. Riecke hat vor Kurzem auch eine Holtz'sche Influenzmaschine zweiter Art untersucht und gefunden, dass die bei einer Umdrehung erzeugte Elektricitätsmenge von der Umdrehungs-Geschwindigkeit unabhängig ist.

Bestimmung des absoluten Elektricitätsdebits einer Maschine.

Von grossem theoretischen Interesse einerseits und praktischen Werthe andererseits ist die Bestimmung des

absoluten Werthes jener Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch eine Elektrisirmaschine erzeugt wird, also des sogenannten Elektricitätsdebits. Es wurden in dieser Beziehung Messungen von Professor Mascart in Paris unternommen, deren Princip wir wenigstens in den Grundzügen darstellen wollen.

Wenn ein Conductor, dessen elektrische Capacität C ist, eine Elektricitätsmenge M zugeführt erhält, so erreicht er ein Potential V; wir haben bereits früher auseinandergesetzt, dass zwischen diesen drei Grössen die Beziehung

$$M = C\,V$$

besteht, da man unter elektrischer Capacität jene Elektricitätsmenge versteht, durch welche der Leiter das Potential Eins erlangt. Gelingt es also, das Potential eines Conductors, dessen Capacität bekannt ist, zu bestimmen, so ist durch obige Formel auch die dem Conductor zugeleitete Elektricitätsmenge bekannt.

Zuerst benützte Professor Mascart eine Holtz'sche Maschine mit zwei sich drehenden Scheiben, und er fand, dass 7 Umdrehungen der Scheiben genügend waren, um eine aus 5 Leydnerflaschen bestehende Batterie soweit zu laden, dass zwischen zwei bestimmten Kugeln, welche 1 cm entfernt waren, ein Funke übersprang. Die zwischen den Kugeln herrschende Potential-Differenz ergab sich in absolutem Masse 18·5. Wie derartige Potential-Unterschiede bestimmt werden können, kann hier nicht angegeben werden; es sei nur bemerkt, dass dieser Angabe folgendes Elektricitätsmass zu Grunde liegt: Eine Elektricitätsmenge gleich Eins ist jene, welche auf eine gleiche Elektricitätsmenge, die sich in einer Entfernung von 1 mm von der ersteren befindet, eine

Abstossung hervorruft, welche durch ein Milligramm gemessen werden kann. Nach der Definition des Potentiales, als des Quotienten einer Elektricitätsmenge durch eine Länge, lässt sich dasselbe in den absoluten Einheiten (Millimeter und Milligramm) ausdrücken.

Es bleibt jetzt nur die Capacität der Leydnerflaschen-Batterie zu erforschen; dies wird bekanntlich durch Vergleichung der zu suchenden Capacität mit bereits bekannten Capacitäten (z. B. von Kugeln, bei welchen die elektrische Capacität genau durch den Halbmesser gegeben ist) erreicht; in dieser Weise fand Mascart die Capacität der von ihm gebrauchten Batterie gleich 225 m, also ebenso gross, wie jene einer Kugel von demselben Halbmesser. Die Elektricitätsmenge war daher im absoluten Masse durch

$$M = 18{\cdot}5 \,.\, 225 \,.\, 10^3 = 4200000$$

gegeben; bedenkt man, dass diese Elektricitätsquantität durch 7 Umdrehungen der Scheiben hervorgerufen wurde, so kann man sagen: die durch eine Scheibenumdrehung erzeugte Elektricitätsquantität ist im absoluten Masse (Millimeter, Milligramm) 600.000 Einheiten.

Mascart hat im weiteren Verlaufe seiner Betrachtungen auch die durch eine Influenzmaschine erzeugte elektrische Energie geschätzt. Dieselbe wird durch das halbe Product aus Elektricitätsmenge und Potential eines Conductors gemessen und bedeutet die Arbeitsgrösse, welche erforderlich ist, um auf den Conductor von der Unendlichkeit her eine Elektricitätsmenge M zu bringen, damit der Conductor das Potential V erreiche.*) Es konnte

*) Wir verweisen den Leser, welcher sich für diese wichtigen der theoretischen Elektricitätslehre zu Grunde liegenden Sätze interessirt,

nämlich die von Professor Mascart verwendete Influenzmaschine Funken bis zu 22 cm geben, was einer Potential-Differenz der beiden Kugeln von 222 absoluten Potential-Einheiten entsprechen würde. Unter der allerdings nicht strenge zutreffenden Voraussetzung, dass die Elektricitätserzeugung der Maschine in derselben Weise wie bei geringer Schlagweite vor sich gehe, ergibt sich nun leicht als Werth für die grösste mit einer solchen Maschine erreichbare Energie 0·067 Kilogrammmeter, wobei zu betonen ist, dass diese Energie einer Scheibenumdrehung entspricht. Würde die Scheibe 15 Umdrehungen in der Secunde vollenden, so würde die erzeugte elektrische Energie ungefähr 1 Kilogrammmeter sein; ebensoviel Arbeit wäre anzuwenden, um der Maschine unter den angegebenen Verhältnissen diese Rotations-Geschwindigkeit zu ertheilen, das allerdings unter der Voraussetzung, dass die consumirte Arbeit nur zur Elektricitäts-Erzeugung und nicht auch zur Ueberwindung anderer Widerstände verwendet wird, wie es in Wirklichkeit doch immer der Fall ist.

Wenn auch diese Betrachtungen nicht vollkommen genau den praktischen Fällen entsprechen, so geben sie immerhin ein sehr deutliches Bild von der Grössenordnung der in Frage stehenden Grössen des Elektricitätsdebits einerseits, der elektrischen Energie andererseits, und es ist durch sie der Weg angezeigt, den man in allen derartigen Untersuchungen einzuschlagen hat.

Die elektrische Energie einer Batterie kann noch auf andere Weise im absoluten Masse bestimmt werden.

auf das kürzlich ins Deutsche übertragene Werk von J. C. Maxwell: Die Elektricität in elementarer Behandlung (Braunschweig 1883).

Es ist nämlich durch mannigfache Beobachtungen dargethan worden, dass die elektrische Energie einer Batterie der Länge eines Metalldrahtes von bestimmtem Durchmesser proportional ist, welcher durch den Entladungsschlag der Batterie geschmolzen werden kann, so dass z. B. eine elektrische Batterie von der doppelten Energie einen doppelt so langen Metalldraht schmelzen kann, als eine andere Batterie, welche nur die einfache elektrische Energie besitzt. Andererseits hat man auch gefunden, dass die grösste Länge eines Metalldrahtes, der durch den Entladungsschlag einer Leydnerflaschen-Batterie geschmolzen werden kann, dem Quadrate der Elektricitätsmenge proportional ist. Wäre es nur möglich die Wärmemengen genau zu bestimmen, die erforderlich sind, um die dem Entladungsschlage ausgesetzten Metalle zu schmelzen, so könnte man aus den so bestimmten Zahlen einen Rückschluss auf die elektrische Energie ziehen.

Es ist aber zu bemerken, dass derartige Bestimmungen keinen grossen Grad der Genauigkeit besitzen. In erster Linie ist nicht die Annahme gestattet, dass die bei der Entladung frei werdende elektrische Energie total zum Schmelzen der Drähte verwendet wird; man bemerkt, insbesondere bei einer weniger heftigen Entladung, dass das Schmelzen des Drahtes nur an der Oberfläche erfolgt; ebenso nimmt man wahr, dass, bevor das eigentliche Schmelzen eintritt, in der Regel eine Zerstäubung des Drahtes an seiner Oberfläche erfolgt. Ein solcher physikalischer Vorgang erfordert aber eine beträchtliche elektrische Energie, welche nicht leicht in Rechnung gezogen werden kann. Es ist demnach leicht

einzusehen, dass die Werthe der elektrischen Energie, welche man aus derartigen Schmelzversuchen erhält, gegen die wirklichen Werthe zu klein ausfallen.

Andererseits sind die Schmelzwärmen trotz der Arbeiten bedeutender Physiker schlecht gekannte Zahlen. — Kurz gesagt, man kann keineswegs das Gewicht des geschmolzenen Metalldrahtes als Mass für die elektrische Energie betrachten und man kann höchstens aus solchen Messungen einen Begriff von der Grössenordnung der letzteren erlangen. Professor Mascart nimmt an, dass ungefähr zwei Drittheile der elektrischen Energie zum Schmelzen der Drähte verwendet werden; das andere Drittel wird auf andere Weise im Schliessungskreise verbraucht.

Mittelst dieser Annahme bestimmte Professor Mascart die absolute Elektricitätsmenge, welche von der von van Marum in Anwendung gebrachten Maschine erzeugt wurde. Der letztgenannte Forscher gibt in seinen Schriften an, dass diese Maschine bei 100 Umdrehungen im Stande war, eine Leydnerflaschen-Batterie, die aus 135 Flaschen, von welchen jede einen Quadratfuss Oberfläche hat, bestand, so weit zu elektrisiren, dass zwischen den Belegungen eine Selbstentladung entstand. Ausserdem berichtet van Marum, dass diese Batterie in ihrer maximalen Wirkung 25 Fuss eines Eisendrahtes von $^1/_{240}$ Zoll im Durchmesser schmelzen konnte, was eine Wärmemenge von ungefähr 72 Kilogrammmetern oder 72.10^9 Milligramm-Millimetern repräsentiren würde.

Da die Flaschen der van Marum'schen Batterie zum Theile noch erhalten waren, konnte Professor Mascart leicht die Capacität einer Flasche, somit der ganzen Batterie bestimmen.

Nun ist die elektrische Energie durch die Formel

$$T = \frac{M V}{2},$$

wenn M die Elektricitätsmenge, V die Potential-Differenz der Leydnerflaschen-Batterie bedeutet, ausgedrückt; andererseits ist aber auch die Elektricitätsmenge M gegeben durch: $M = C V$, wobei C die gemessene elektrische Capacität der Batterie ist. Man kann durch Combination der beiden Formeln V eliminiren und erhält für die Elektricitätsmenge, welche auf der Leydnerflaschen-Batterie sich befand, durch 100 Scheibenumdrehungen also erzeugt wurde,

$$M = \sqrt{2\,C\,T}$$

und daher die bei einer Umdrehung der Maschine erzeugte Elektricitätsmenge

$$m = \frac{1}{100}\sqrt{2\,C\,T}.$$

Dies ist der Gedankengang, der zur Bestimmung des absoluten Elektricitätsdebits leitete. Aus den beobachteten und gerechneten Werthen ergab sich $m = 5120000$ im absoluten (Milligramm-Millimeter) Masse. Wenn wir diese Zahl mit jener vergleichen, welche ebenfalls von Professor Mascart für die durch eine Scheibenumdrehung seiner Holtz'schen Influenzmaschine erzeugte Elektricitätsmenge erhalten wurde, so sehen wir, dass die erstere Zahl mehr als das Achtfache der zweiten ist.

Selbstverständlich musste man auf die oben erwähnten Umstände Bedacht nehmen; man musste von der oben gegebenen Energie ein Drittel für die nicht elektrischen Erscheinungen im Schliessungskreise abrechnen. Bei genauen Messungen hätte man auch Rücksicht auf die

Elektricitätsmenge zu nehmen, die in den Flaschen der Batterie zurückbleibt, also auf jene Elektricitätsquantität, die unter dem Namen »elektrisches Residuum« bekannt ist. Dasselbe soll aber in der von van Marum verwendeten Batterie ein minimales gewesen sein.

Wir hielten es, bevor wir zur Vergleichung der Leistungsfähigkeiten einiger Elektrisirmaschinen übergingen, für nothwendig, auf diese absoluten Bestimmungen aufmerksam zu machen, weil man aus den diesbezüglich erhaltenen Zahlen sich ein deutliches Bild der Elektricitäts-Verhältnisse von Generatoren hochgespannter Elektricität entwerfen kann.

Vergleichung des Elektricitätsdebits verschiedener Maschinen.

Man kann die Leistungen verschiedener Maschinen mit einander vergleichen, wenn man in den Schliessungskreis einer Maschine eine Lane'sche Massflasche einschaltet und bei gegebener Entfernung der Kugeln derselben die Anzahl der Entladungen der Flasche bestimmt. Die zu vergleichenden Maschinen wurden in einen Zustand gebracht, dass sie das Maximum ihrer Leistung gaben. Als zur Elektricitäts-Erzeugung nützliche Oberfläche wurde bei diesen Versuchen, welche auch von Professor Mascart angestellt wurden, die von allen Spitzenkämmen in der Secunde überfahrene Oberfläche des Dielektricums gerechnet. So muss man, wenn z. B. die Elektrisirmaschine — und wir haben solche Modelle kennen gelernt — zwei Paar Kissen hat, die Fläche des Kreisringes, welcher der Länge des Saugkammes entspricht, mit 4 multipliciren. Bei den Influenzmaschinen, wie sie von Holtz construirt wurden, wurden die beiden Seiten

der Scheibe in Rechnung gezogen, aber nur einmal, obwohl der Scheibe zwei Kämme gegenüberstehen; denn der eine von diesen Kämmen übernimmt die Rolle des Kissens, der andere jene des Elektricitätssammlers oder Collectors.

In dieser Weise wurden die Reibungs-Elektrisirmaschinen von Ramsden, von van Marum, von Nairne, eine einfache Holtz'sche Influenzmaschine, eine mit zwei Scheiben und eine Influenzmaschine zweiter Art, ebenso eine Carré'sche und eine Armstrong'sche Maschine mit einander verglichen. Was die Stromintensität der einzelnen Maschinen betrifft, so war dieselbe bei der Holtz'schen Maschine mit zwei Scheiben am bedeutendsten, schwächer war sie bei der einscheibigen gewöhnlichen Holtz'schen Influenzmaschine und am allergeringsten bei der Maschine von Nairne. Die Armstrongsche Hydro-Elektrisirmaschine lieferte einen Strom, der seiner Intensität nach etwas mehr als die Hälfte des Stromes einer einfachen Holtz'schen Influenzmaschine betrug.

Berechnet man das Verhältniss der von einer Elektrisirmaschine in der Secunde vollzogenen Leistung zur nutzbaren Oberfläche, so ergab sich dasselbe für die erwähnten Maschinen wie folgt:

Maschine	von Ramsden	0·42
»	» van Marum	0·80
»	» Nairne	1·20
»	» Holtz mit einer Scheibe .	12·8
»	» Holtz mit zwei Scheiben .	12·3
»	» Holtz (zweiter Art) . .	9·7
»	» Carré	7·2

Diese Zahlen sprechen ganz deutlich zu Gunsten der neueren Influenzmaschinen gegenüber den Reibungs-Elek-

trisirmaschinen älterer Construction. Wie wir bald sehen werden, liefert der Funkeninductor noch bedeutendere Elektricitätsmengen, und es ist die Intensität des von diesem erzeugten Stromes weit bedeutender, als jene der Ströme der Elektrisirmaschinen.

II.

Inductions-Apparate als Generatoren hochgespannter Elektricität.

Im Jahre 1852 gründete Napoleon III. den sogenannten Voltapreis von 50.000 Francs, der demjenigen verliehen werden sollte, welcher die »bedeutendste Anwendung der Elektricität« darzustellen vermöchte. Hierbei war zunächst die Absicht ausgesprochen, Männer der Wissenschaft und der Praxis zur eingehenderen Untersuchung der Frage über die Verwendbarkeit der Elektricität als Triebkraft aufzumuntern. Der Erste, welcher den grossen Voltapreis erhielt, war der aus Hannover gebürtige, in Paris lebende Mechaniker Ruhmkorff, welcher 1877 im Alter von 74 Jahren starb. Der Apparat, dessenthalben Ruhmkorff der Preis zuerkannt wurde, ist der bereits im Jahre 1851 von ihm construirte, bis zum Jahre 1861 (dem Jahre der Preisvertheilung) bedeutend vervollkommnete Funkeninductor, dessen Einrichtung und Wirkungsweise wir an dieser Stelle näher zu erörtern haben, da sich mittelst dieses Apparates alle jene Erscheinungen in ausgezeichneter Weise hervorrufen lassen, zu denen eine grosse Spannung der Elektricität erfordert wird.

Der Funkeninductor von Ruhmkorff beruht auf den Gesetzen der galvanischen und Magneto-Induction, und es sollen dieselben hier nur kurz recapitulirt werden.

Gesetze der galvanischen Induction.

Denken wir uns einen geschlossenen Leiterkreis, in welchem ein sehr empfindlicher Galvanometer eingeschlossen ist; in der Nähe dieses Leiters befinde sich ein zweiter Leiter, durch welchen ein Strom geschickt werden kann, der in geeigneter Weise in seiner Intensität mannigfache Variationen erfahren, ja selbst bis auf den Werth Null (etwa unter Zuhilfenahme eines Blitzrädchens) gebracht werden kann. Dieser Stromkreis kann dem erstgenannten Leiterkreise auch genähert oder von demselben entfernt werden. Es hat sich nun herausgestellt, dass jedesmal, wenn im zweiten Leiterkreise der Strom beginnt oder aufhört, oder die Intensität des Stromes wächst oder abnimmt, oder auch die Entfernung der beiden Leiterkreise vergrössert oder verkleinert wird, im zweiten Leiterkreise ein Strom entsteht, der den Namen inducirter Strom führt, während der im ersten Kreise fliessende Strom inducirender Strom genannt wird. Meist wendet man als Stromkreis eine Spule kurzen und dicken Drahtes an und nennt diese Spule inducirende oder Hauptspule, auch primäre Spule; als den Leiterkreis, in welchem der inducirte Strom cursiren soll, gebraucht man durchwegs eine Spule von sehr langem und feinem, mit Seide übersponnenem Draht und nennt diese Spirale Inductionsspirale oder inducirte, oder auch secundäre Spirale. Warum die beiden Drahtleiter in ihren Dimensionen so verschieden gewählt sind, kann erst später erörtert werden.

Was die Dauer der Inductionsströme betrifft, so soll vorderhand nur gesagt werden, dass die letzteren nur einen Augenblick dauern, so dass die Galvanometernadel einen Ruck nach einer bestimmten Richtung erfährt und dann wieder allsogleich auf Null zurückkehrt. Was die Richtung der Inductionsströme anbelangt, so haben sich aus den Versuchen folgende Gesetze ergeben: Wenn im primären Stromkreise der Strom beginnt oder anwächst, oder der primäre Stromleiter dem secundären Leiter genähert wird, so entsteht im letzteren ein dem inducirenden Strome entgegengesetzt gerichteter Inductionsstrom; wenn aber im primären Leiter der Strom aufhört oder schwächer wird, oder sich dieser Leiter vom secundären Leiter entfernt, so hat der im letzteren hervorgerufene Inductionsstrom eine Richtung, welche mit der des inducirenden Stromes in Uebereinstimmung ist. So lange der primäre Leiter von einem constanten Strome durchflossen wird, zeigt sich im secundären Leiter kein Strom; auch dann, wenn der primäre stromdurchflossene Leiter seine relative Lage gegen den zweiten Leiter beibehält, existirt in diesem kein Inductionsstrom.

Das Gesetz der Hervorrufung eines Inductionsstromes durch Verrückung des primären Stromleiters drückt man zuweilen auch in folgendem Satze aus: Wenn ein von einem Strome durchflossener Leiter sich einem geschlossenen Leiterkreise nähert oder von demselben entfernt, so entsteht in demselben ein inducirter Strom, der eine derartige Richtung besitzt, dass, wenn er auf den inducirenden Strom nach den Grundgesetzen der Elektrodynamik wirkt, er dem letztgenannten Stromkreise eine der Bewegung desselben entgegengesetzte Bewegung

ertheilen würde. Oder kurz: die Induction durch Verrückung hindert die Bewegung, welche sie hervorruft. Dieses Gesetz, das in der Lehre von den inducirten Strömen eine grosse Rolle spielt, ist unter dem Namen des Lenz'schen Gesetzes bekannt.

Um in einer secundären Spirale rasch aufeinanderfolgende Inductionsströme hervorzurufen, hat man den Strom in der primären Spirale in rascher Aufeinanderfolge zu schliessen und zu unterbrechen; dies wird durch Strom-Unterbrechungsapparate oder Interruptoren (Rheotome), die mannigfacher Art construirt sind und deren Beschreibung gelegentlich der des Funkeninductors vorgenommen werden wird, erreicht. — Es ist auf experimentellem Wege gezeigt worden, dass die elektromotorische Kraft des inducirten Stromes um so bedeutender ist, je grösser die Stärke des ihn erregenden Stromes im primären Kreise ist; sie hängt ferner von der Anzahl der Windungen der secundären Spirale ab, welcher sie direct proportional ist; schliesslich ist die elektromotorische Kraft des Inductionsstromes eine Function der Geschwindigkeit, mit welcher der Strom geändert wird oder die Lage des inducirenden Stromkreises gewechselt wird. Will man also die elektromotorische Kraft des Inductionsstromes steigern, so wird man die Stromschliessungen und Stromunterbrechungen sehr rasch auf einander folgen lassen. Von dem Materiale des Drahtes ist die elektromotorische Kraft des inducirten Stromes ganz und gar unabhängig.

Magnetoinduction und deren Gesetze.

Nach Ampère's Theorie des Magnetismus besteht ein Magnet aus einer sehr grossen Anzahl gleich-

gerichteter Molecularströme, und es muss aus diesem Grunde die Annäherung oder Entfernung eines Magnetstabes von einem geschlossenen Drahtkreise in demselben einen momentanen Inductionsstrom erzeugen. Dies hat auch Faraday, der schon im Jahre 1831 die Grundgesetze der galvanischen oder Voltainduction und der Magnetoinduction studirte, nachgewiesen. Er zeigte, dass, wenn man einen Magnetstab in eine Spule (er wandte eine solche an, welche 200—300 Meter Draht enthielt) einführte oder denselben rasch herauszog, in der Spirale ein momentaner Inductionsstrom cursirte. Die Richtung der Inductionsströme in der Spirale kann man sofort angeben, wenn man an dem Gesetze der Richtung der hypothetischen Molecularströme im Magneten festhält: Um den Südpol fliessen die Molecularströme im Sinne des Zeigers einer Uhr, um den Nordpol dem Sinne des Zeigers einer Uhr entgegen. Mit Hilfe dieser Betrachtungen und der Berücksichtigung der Phänomene der galvanischen Induction lassen sich jederzeit die Richtungen der inducirten Ströme leicht angeben, wenn man einen Magnetpol einem Stromleiter nähert oder von demselben entfernt. Auch diesbezüglich gilt das Lenz'sche Gesetz, dass, so oft die relative Lage eines Magnetes gegen einen Stromleiter geändert wird, in diesem ein Inductionsstrom entsteht, welcher eine Bewegung hervorzurufen sucht, die jener entgegengesetzt ist, durch welche er selbst erzeugt wurde.

Auch dann, wenn man in der Spirale einen weichen Eisenkern hat und der ersteren plötzlich einen starken Magnet nähert oder von derselben entfernt, entstehen in der Spirale Inductionsströme von entgegengesetzter

Richtung. Dieselben verdanken ihren Ursprung der Magnetisirung und Entmagnetisirung des weichen Eisens durch den Magnetstab. Man kann deshalb die Inductionswirkung dadurch verstärken, dass man im Innern der Spirale weiche Eisenmassen anhäuft; dann wirken der inducirende Strom und der durch ihn erzeugte Magnet in demselben Sinne, und es ist deshalb die Gesammtwirkung eine bedeutendere.

Hier sei erwähnt, dass bereits Sturgeon die für die Construction von Inductions-Apparaten wichtige Bemerkung gemacht hat, dass bedeutendere Inductionswirkungen hervorgerufen werden, wenn man statt eines massiven Stabes von weichem Eisen ein Bündel von unter einander isolirten (etwa gefirnissten) dünnen Eisenstäbchen anwendet. Man verhindert auf diese Weise die Entstehung von bedeutenden Inductionsströmen, welche im Eisenkerne auftreten würden und ihrerseits eine dem inducirenden Strome entgegengesetzte Wirkung auf die secundäre Spirale ausüben möchten; andererseits aber würden derartige im Eisenkerne vorhandene Inductionsströme den ersteren im entgegengesetzten Sinne zu magnetisiren suchen, wie der Hauptstrom, und es würde dadurch eine Verlangsamung des Entstehens des vollen Magnetismus stattfinden. Wendet man aber statt eines massiven Eisenkernes ein Bündel von Eisendrahtstäben an, so kommen in denselben keine bedeutenderen Inductionsströme zu Stande, da letzteren keine ununterbrochene Leitung dargeboten wird.

Aus ganz demselben Grunde macht man die Umhüllung der Eisendrähte nicht aus Metall, sondern aus einem isolirenden Stoffe, z. B. Ebonit; denn in einer Metallhülle

würde der in derselben auftretende Inductionsstrom die oben beschriebenen ungünstigen Wirkungen hervorrufen

Es sei bemerkt, dass man öfters statt der Eisendrähte eine Eisenblechspirale angewendet hat, deren einzelne Windungen von einander gut isolirt sind. Auch hat man zuweilen mit gutem Erfolge die Drahtstäbe mit einer Metallhülle umgeben, die aber ihrer Länge nach aufgeschlitzt war. Dadurch erreichte man, dass die entstehenden Inductionsströme keine geschlossenen Bahnen antreffen.

Wir können, wenn wir die bei der Magnetoinduction beobachteten Thatsachen zusammenfassen, sagen: Jedesmal, wenn der inducirende Magnetismus entsteht oder vermehrt wird, entsteht ein Inductionsstrom, welcher den hypothetischen Ampère'schen Strömen entgegengesetzt gerichtet ist; dasselbe tritt auch ein, wenn der secundären Spirale der Magnet genähert wird. Hört jedoch der inducirende Magnetismus auf, oder wird derselbe vermindert, so entstehen in der Secundärspirale Ströme, welche mit den inducirenden Ampère'schen Strömen gleiche Richtung besitzen; dieses Phänomen zeigt sich auch dann, wenn der inducirende Magnet von der inducirten Spirale entfernt wird.

Aendert sich jedoch die Stärke des inducirenden Magnetes nicht und ändert derselbe auch seine relative Lage gegen die Inductionsspirale nicht, dann entsteht in derselben kein Inductionsstrom. Es soll hier nebenbei erwähnt werden, dass man auch Magnetoinductions-Ströme unter der Einwirkung des grossen Erdmagnetes erhalten kann und dass man erdmagnetische Inductoren construirt hat, mittelst welcher man diese Erscheinungen beobachten und studiren kann.

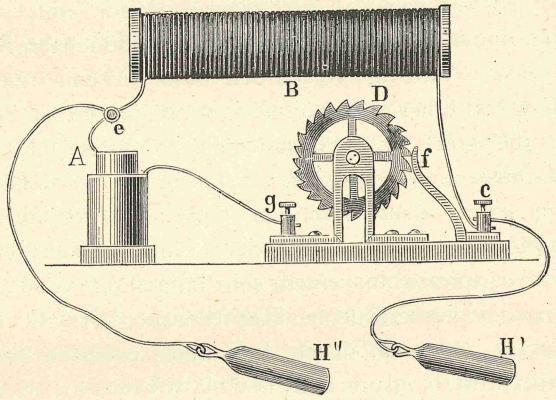
Die elektromotorische Kraft der Magnetoinductions-Ströme ist um so grösser, je grösser die Stärke des inducirenden Magnetes ist, ferner je bedeutender die Anzahl der Windungen der inducirten Spirale ist und schliesslich je schneller der Magnetismus im inducirenden Magnetstabe geändert wird oder je schneller der letztere der Spirale genähert oder von ihr entfernt wird. Wenn der äussere Widerstand, in dem der Inductionsstrom fliessen soll, grösser wird, so muss auch dessen elektromotorische Kraft grösser werden, es müssen daher unter sonst gleichen Umständen die Windungen der inducirten Spirale in grösserer Anzahl vorhanden sein. Wenn man die Windungszahl dieser Spirale bedeutend steigert, so können durch die stark anwachsende elektromotorische Kraft grosse äussere Widerstände überwunden werden. Wir werden sehen, dass man, von diesen theoretischen Betrachtungen ausgehend, in den Funkeninductoren die secundäre Spirale aus einem sehr langen (oft viele Meilen betragenden) äusserst feinen Kupferdrahte herstellt. Jedenfalls ist es, wie man durch Rechnung erfahren hat, am vortheilhaftesten, den inneren Widerstand der Inductionsspirale so gleich als möglich dem des äusseren Stromkreises zu machen.

Induction eines Stromes auf sich selbst. Extraströme.

Ein galvanischer Strom erzeugt nicht nur in einem benachbarten Stromleiter bei seiner Variation Inductionsströme, sondern er ruft auch solche in seiner eigenen Bahn hervor. Auch die diesbezüglichen Versuche wurden von Faraday angestellt, und er gibt diesen speciellen Inductionsströmen den Namen Extraströme. Man kann

das Vorhandensein derartiger Ströme entweder mittelst des Galvanometers oder durch die physiologischen Wirkungen, welche sie erzeugen, nachweisen. Zu letzterem Behufe schaltet man in den Stromkreis einer Batterie eine Drahtspirale $S\,S$ (Fig. 59) ein; das eine Ende der Spirale ist mit dem einen Batteriepole verbunden, der andere Batteriepol ist in leitender Verbindung mit einer Klemmschraube, mit der noch eine metallene Handhabe

Fig. 59.



verbunden ist; das andere Ende der Spirale ist mit einer zweiten Klemmschraube in Verbindung und von derselben führt auch ein zweiter Draht zu dem zweiten Metallconductor. Ausserdem ist mit dieser Klemmschraube eine leitende Feder in Verbindung, welche am Umfange eines Neef'schen Blitzrädchens schleift.

Wenn der galvanische Strom in der Spirale entsteht, so wird durch Inductionswirkung der stromdurchflossenen Windungen auf die benachbarten ein Inductionsstrom erzeugt, welcher dem inducirenden Strome entgegengesetzt gerichtet ist; ebenso entsteht ein Inductionsstrom, aber von derselben Richtung wie der inducirende, wenn der letztere unterbrochen wird. Es ist klar, dass der beim Schliessen entstehende Inductionsstrom den Hauptstrom schwächt, und es tritt daher derselbe nicht augenblicklich mit voller Intensität auf, sondern erst dann, wenn der Schliessungs-Extrastrom zu sein aufgehört hat. Andererseits wird im Augenblicke, in welchem der ursprüngliche Strom schon unterbrochen ist, der Oeffnungs-Extrastrom als eine Verlängerung des Hauptstromes erscheinen.

Wenn man nun das Blitzrädchen des oben beschriebenen Apparates in Drehung versetzt, so erhält man, wenn man die beiden Metallconductoren in die Hände nimmt, beim Unterbrechen des Hauptstromes einen intensiven augenblicklichen Schlag, welcher vom Oeffnungs-Extrastrome herrührt. Allerdings würde auch der Batteriestrom eine schmerzhafte Empfindung hervorrufen, doch ist dieselbe nicht so plötzlich, sondern von längerer Zeitdauer.

Der Oeffnungs-Extrastrom unterstützt also den Hauptstrom und verstärkt den Oeffnungsfunken, der Schliessungs-Extrastrom vermindert die Stärke des Hauptstromes und hebt den Funken im Momente der Schliessung des primären Stromes auf. Ganz besonders kräftige physiologische Wirkungen erzielt man, wenn man in die Spirale ein Bündel von weichen Eisendrähten einführt; diese Verstärkung rührt von der Magnetisirung des weichen Eisenkernes her; in dem zuletzt erwähnten Falle wirken nämlich galvanische und Magneto-Induction in demselben Sinne.

Dass der Hauptstrom bei seiner Schliessung in Folge des entgegengesetzt cursirenden Extrastromes erst allmählich, allerdings in sehr kurzer Zeit, zu seiner Maximal-Intensität anwächst, wurde bereits früher erwähnt. Beim Oeffnen des Stromes zeigt sich keine Verzögerung, er hört in diesem Falle sogleich auf. Man kann deshalb sagen, zum Verschwinden des Stromes in einer Spirale beim Oeffnen derselben ist eine kürzere Zeit erforderlich, als zum Entstehen des Stromes beim Schliessen.

Die Verzögerung des Stromes beim Schliessen kann bis $^2/_{10}$ Secunden betragen und kann höchst störend auf die Wirksamkeit der elektromagnetischen Motoren, auch z. B. auf die telegraphische Correspondenz auf langen (etwa submarinen) Linien einwirken. Wie man im letzteren Falle diesem Uebelstande abhelfen kann, wurde bereits in einem anderen Bande dieser Bibliothek erörtert.

Intensität der Inductionsströme.

Die Inductionsströme, welche durch eine primäre Spirale in einer secundären hervorgerufen werden, bieten einige Verschiedenheiten dar, je nachdem sie der Schliessung oder Oeffnung des Hauptstromes entsprechen; dieselben sind den beiden Extraströmen zuzuschreiben. Es zeigt sich, dass die beiden inducirten Ströme, der directe und der umgekehrte, der Quantität nach gleich, der Spannung nach verschieden sind. Alle Wirkungen, welche von der Quantität der inducirten Ströme, d. h. von ihrer absoluten Elektricitätsmenge herrühren, sind identisch, ob man nun den Inductionsstrom der Schliessung oder jenen der Oeffnung des primären Stromkreises

in Betracht zieht; das Galvanometer, durch welches die beiden rasch aufeinanderfolgenden, entgegengesetzt gerichteten Inductionsströme fliessen, zeigt keine Ablenkung an. In dem Falle aber, in welchem die Spannungserscheinungen der inducirten Ströme, d. h. die Potential-Differenz an den beiden Enden des inducirten Stromkreises, in Betracht kommt, zeigen sich die beiden Ströme sehr verschieden. Dies tritt z. B. dann ein, wenn die inducirten Ströme grosse Widerstände überwinden, z. B. Luftstrecken durchbrochen werden sollen. So ruft der Schliessungsstrom keinen Funken hervor, während der Oeffnungsfunke zu Stande kommt.

Der Grund dieser Erscheinung ist leicht einzusehen. Da das Verschwinden eines Stromes in einer Spirale beim Oeffnen rascher vor sich geht, als das Entstehen des Stromes beim Schliessen, so ist klar, dass beim Oeffnen des Stromes dieselbe Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit durch die secundäre Spirale cursirt, als beim Schliessen des primären Stromes. Aus diesem Grunde muss — wie es auch die Beobachtungen lehren — die Intensität des Inductionsstromes beim Oeffnen der primären Spirale grösser sein als jene des Schliessungs-Inductionsstromes.

Induction in nicht geschlossenen Stromkreisen.

Wir haben bisher die inducirende Wirkung eines Stromes oder eines Magnetes auf einen geschlossenen Stromkreis betrachtet. Wenn aber der letztere offen ist, so zeigen sich noch immer Inductions-Wirkungen in demselben; diese offenbaren sich jedoch nicht mehr in Strömen, sondern in entgegengesetzten elektrostatischen Ladungen;

die beiden einander gegenüberstehenden Enden des Stromkreises zeigen eine Potential-Differenz, welche der Intensität des inducirenden Stromes einerseits und dem Producte der Längen des inducirenden und des inducirten Stromkreises proportional ist. Bei der Näherung der beiden Enden des inducirten Drahtes beobachtet man ganz dieselben Erscheinungen der hochgespannten Elektricität, wie zwischen den Conductorkugeln einer functionirenden Holtz'schen Influenzmaschine.

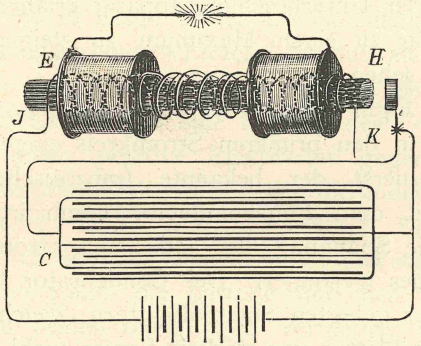
Alle jene Phänomene, welche man mit den oben beschriebenen Apparaten, den Reibungs-Elektrisirmaschinen und den Influenzmaschinen, hervorrufen kann, lassen sich in ausgezeichneter Weise, ja mitunter noch intensiver mittelst Inductions-Apparaten erzeugen. Die Gesetze der galvanischen und Magnet-Induction wurden bei der Construction mannigfacher Apparate verwendet, es seien in dieser Beziehung ausser den magneto- und dynamoelektrischen Maschinen nur jene kleineren Apparate erwähnt, welche zu medicinischen, militär-technischen Zwecken dienen. Die Beschreibung der Einrichtung und Wirkungsweise dieser Instrumente findet der Leser in früheren Bänden der Elektrotechnischen Bibliothek. Im Nachfolgenden sollen nur jene Apparate eingehender erörtert werden, welche in erster Linie dazu berufen sind, hochgespannte Elektricität zu erzeugen und einen Ersatz für die Elektrisirmaschine zu bieten.

Funkeninductoren.

Das Princip aller dieser Apparate ist in der folgenden Figur 60 zu erkennen. *E* stellt ein Bündel von Eisenkernen dar, welche von einander durch Lackschichten

wohl isolirt sind. Rings um dieses Drahtbündel ist eine Spule aus dickem Drahte gewickelt, welche die primäre oder inducirende Spule genannt wird. Auf diese Spirale ist von ihr isolirt eine zweite Spirale gewickelt, welche aus sehr zahlreichen von einander gut isolirten Windungen eines zweiten sehr feinen Kupferdrahtes besteht und welche die secundäre oder Inductionsrolle genannt wird. Die Hauptspirale ist in den Stromkreis einer Batterie eingeschaltet; in ebendemselben befindet sich ein Strom-

Fig. 60.



interruptor, der, wie wir später sehen werden, mannigfache Constructionen erfahren hat. In unserer schematischen Figur besteht er aus einer Feder *K*, welche mit einem Eisenstücke *H*, dem sogenannten Hammer, der dem Eisendrahtbündel gegenübersteht, versehen ist. An diese Feder legt sich der Draht, welcher von dem einen Batteriepole kommt, berührend an. Man erkennt leicht die Wirkung dieses Interruptors. Sind die Verbindungen so wie es in der Figur dargestellt ist, so circulirt ein Strom durch die primäre Spirale, macht den aus Eisendrähten

bestehenden Kern magnetisch; in Folge dessen wird der Hammer von letzterem angezogen, dadurch aber der Strom unterbrochen; rasch werden nun die Eisendrähte unmagnetisch (was bei massivem Eisenkerne nicht der Fall wäre); der Hammer *H* wird durch die Federkraft zurückgeführt und ein neuer Stromschluss hergestellt u. s. w. Auf diese Weise entstehen rasch aufeinanderfolgende Stromschliessungen und Unterbrechungen, welche eine grosse Anzahl von abwechselnd entgegengesetzt gerichteten Inductionsströmen zur Folge haben. Welche Modificationen der Unterbrechungsapparat erfahren hat, um die Wirkung zu einem Maximum zu steigern, werden wir später sehen.

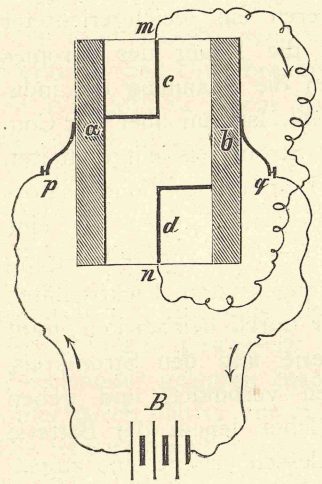
In der Figur nehmen wir noch einen Condensator wahr, der in den primären Stromkreis eingeschaltet ist und den zuerst der bekannte französische Physiker Fizeau mit dem Funkeninductor combinirte. Er hat dadurch die Spannung der inducirten Ströme um ein Beträchtliches gesteigert. Der Condensator besteht aus übereinander gelegten Stanniolblättern, welche von einander durch Blätter von starkem Papier wohl isolirt sind. Die letzteren sind grösser als die Stanniolblätter und in eine Harzlösung getaucht worden. Sehr häufig wendet man anstatt Papier Wachstaffetblätter an. Das erste, dritte, fünfte u. s. w. Stanniolblatt überragt die Papierblätter auf der einen Seite, das zweite, vierte, sechste u. s. w. Stanniolblatt auf der anderen Seite. Die erstgenannten sind unter einander verbunden und bilden eine Belegung des Condensators, ebenso bilden die mit einander verbundenen geraden Stanniolblätter die zweite Belegung desselben. In den grossen Funkeninductoren erreichen die

Belegungen des Condensators zuweilen je die beträchtliche Grösse von 20 Quadratmetern. Die Verbindung des Condensators mit dem Stromkreise ist aus der Figur zu ersehen. Der Condensator ist gewöhnlich in einem Kasten, welcher den ganzen Apparat trägt, befindlich.

Um die Rolle des Condensators in der Wirkungsweise des Funkeninductors zu erkennen, erinnern wir uns, dass bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes in dem Stromkreise des letzteren ein gleichgerichteter Extrastrom entsteht, welcher die Dauer des Stromes verlängert und in Folge dessen die Spannung des inducirten Oeffnungsstromes schwächt. Ist nun aber der Condensator in den inducirenden Stromkreis eingeschaltet, so wird der Extrastrom eine Ladung des Condensators bewirken, indem positive Elektricität gegen die eine Belegung, negative Elektricität gegen die andere Belegung geschickt wird. Diese entgegengesetzten Elektricitäten vereinigen sich sogleich wieder durch den starken Draht der primären Spule, die Batterie und den Stromkreis, welcher die beiden Belegungen verbindet, und geben Anlass zu einem Strome, welcher jenem der Batterie entgegengesetzt ist; in Folge dessen erfolgt eine augenblickliche Entmagnetisirung der Eisendrähte und es ist der inducirte Strom deshalb von einer kürzeren Dauer und demzufolge intensiver. Während ohne Condensator die Funken an der Unterbrechungsstelle intensiv sind, wird bei Einschaltung des Condensators in den Schliessungskreis dieser Funke schwächer und es werden die an den Unterbrechungsstellen befindlichen Metallplättchen, die gewöhnlich aus Platin sind, nicht so leicht zerstört oder unfähig gemacht.

An den Ruhmkorff'schen Funkeninductoren befinden sich in der Regel noch Commutatoren angebracht, durch welche es möglich wird, die Richtung des inducirenden Stromes zu wechseln und daher auch die Pole des inducirten Drahtes zu verändern. Das Princip des bereits von Ruhmkorff construirten Apparates dieser Art ist durch die beistehende schematische Fig. 61 dargestellt. Er besteht im Wesentlichen aus einem Cylinder aus Elfenbein oder aus Buchsbaumholz, der an seinen Seiten mit Kupferwülsten a und b bedeckt ist, an welchen zwei Federn p und q schleifen, zu welchen die von den Polen der Batterie B kommenden Drähte führen. Der Cylinder ist um seine Axe drehbar und besitzt in seinem Innern zwei aus der Figur ersichtliche Canäle c und d, welche mit Metall gefüllt sind; die Enden m und n der letzteren sind mit den Enden der primären Spirale verbunden. In der gezeichneten Lage cursirt der Strom im Kreise der Hauptspirale im Sinne des Zeigers einer Uhr. Wird nun der Commutator um 180° gedreht, so gelangt a an die Stelle vor b und umgekehrt; der Strom circulirt nun im Kreise der Hauptspirale von n gegen m, also in der gezeichneten Figur dem Sinne des Uhrzeigers entgegen.

Fig. 61.



Wenn man den Commutator nur um 90° dreht, so legen sich die elastischen Federn nicht mehr auf die Kupferwülste a und b, sondern auf den Buchsbaumcylinder an und der Strom ist unterbrochen.

Hauptspirale, Inductionsspirale, Unterbrechungsapparat, Condensator und Commutator sind die wesentlichen Bestandtheile eines Funkeninductors, und es erübrigt noch die specielle Einrichtung dieser Bestandtheile zu erörtern, was im Nachfolgenden geschehen soll.

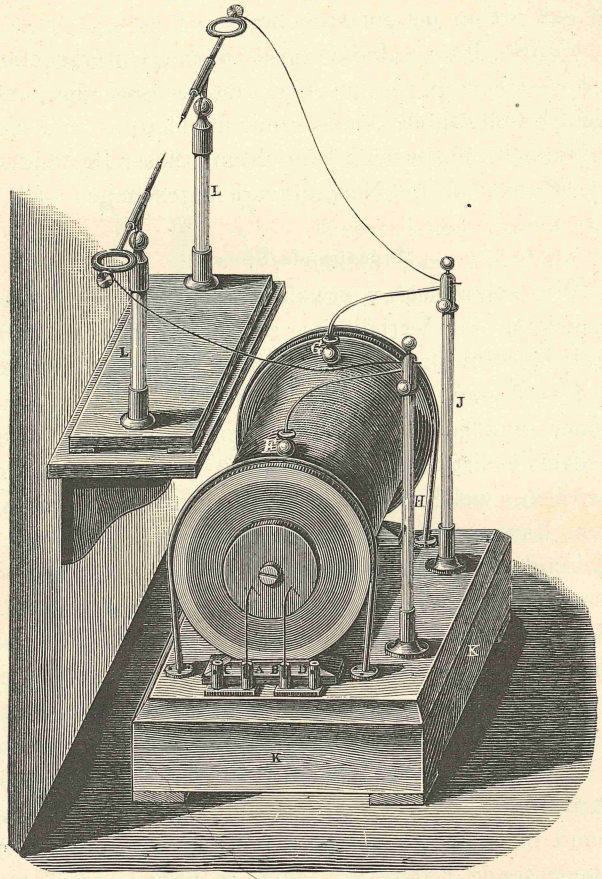
Inducirende Spirale.

Wie schon früher erwähnt wurde, besteht dieselbe aus dickem, im Verhältniss zu jenem der secundären Spirale kurzem Drahte. Die Dicke dieses Drahtes variirt von 2—2·5 mm, er ist aus Kupfer und mit Seide übersponnen und jede Spirale ist von der folgenden durch Schellack isolirt. Die Dimensionen der grössten Inductionsrollen, welche Ruhmkorff construirte, betragen 65 cm Länge und 24 cm Durchmesser; die Länge des inducirenden Drahtes ist 40—50 m. Doch sind noch viel grössere Inductionsrollen construirt worden und es sei in dieser Beziehung die von Apps nach den Angaben Spottiswoode's verfertigte Inductionsrolle von 4 englischen Fuss Länge und 20 Zoll Durchmesser, bei welcher der ungefähr $^1/_{10}$ Zoll dicke Hauptdraht eine Länge von 660 Yard hat, und der grosse Funkeninductor des polytechnischen Institutes in London, der 3 m Länge hat und bei dem der 54 kg wiegende inducirende Draht die bedeutende Länge von 3450 m besitzt, erwähnt.

Den inducirenden Draht windet man auf einen hohlen Cylinder von Holz oder starker Pappe, welcher

also den Kern der Spule bildet. Diese Röhre ist mit

Fig. 62.



einem Bündel dünner Drähte von weichem Eisen, welche separat gefirnisst sind, gefüllt und es ragt das Bündel

an der einen Seite aus der Röhre ein wenig hervor. Die freien Drahtenden der inducirenden Spirale stehen (Fig. 62) mit den Klemmschrauben *A* und *B* in leitender Verbindung und es kann der inducirende Strom in diese Spirale mittelst der Messingsäulen *C* und *D* geschickt werden.

Inductionsspirale.

Die Hauptspirale ist von einer Glasröhre oder einer Hartgummiröhre umgeben, auf welcher die secundäre Spirale aufgewickelt ist; diese besteht aus sehr dünnem Kupferdraht (bei grossen Inductionsrollen $^1/_5$ mm Durchmesser, bei kleineren $^1/_3$ mm), der eine beträchtliche Länge besitzt. Letztere erreicht bei grösseren Apparaten zuweilen 120.000 m; in der Inductionsrolle von Spottiswoode, der wir früher gedachten, beträgt diese Länge 180 englische Meilen; der Draht war in vier Abtheilungen gewunden und für die mittleren Abtheilungen $^1/_{100}$ Zoll dick, für die beiden äusseren Abtheilungen ein wenig stärker; die gesammte Anzahl der Inductions-Windungen dieses mächtigen Inductors betrug 341.850. In dem Funkeninductor des Londoner polytechnischen Institutes ist der inducirte Draht 241 Kilometer lang und hat einen Durchmesser von 0·4 mm. Bei Vermehrung der Länge des dünnen Drahtes erreicht man eine grössere Potential-Differenz; bei Vergrösserung des Durchmessers desselben gewinnt man an Quantität der Elektricität. Auf die Isolirung der Windungen des secundären Drahtes ist die grösste Sorgfalt zu verwenden. Die einzelnen Lagen des an und für sich sehr gut isolirten Drahtes werden noch besonders von einander dadurch isolirt, dass man jede Lage überfirnisst oder mit einer

isolirenden Substanz (z. B. Wachs) überzieht oder auch zwischen je zwei Lagen eine Schicht von Wachspapier oder eine Guttaperchaplatte legt. Diese sehr grosse Vorsicht bei der Isolirung der einzelnen Lagen erweist sich deswegen als dringend nothwendig, weil zwei übereinander liegende Windungen oft sehr weit entfernten Stellen des inducirten Drahtes entsprechen. Bei der Erregung des Stromes in der secundären Spirale nimmt die elektrische Spannung in dem Drahte der secundären Spule von der Mitte gegen die Enden sehr zu und ist aus diesem Grunde an zwei von einander weit entfernten Stellen sehr verschieden. In Folge dieser immerhin bedeutenden Potential-Differenz kann bei wenig sorgfältiger Isolirung der einzelnen Schichten ein directer Ausgleich der Elektricitäten von einer Lage zur anderen eintreten. Es kann auch bei nicht recht schwachen inducirenden Strömen zuweilen geschehen, dass bei nicht vorsichtiger Isolation leicht ein Durchbrechen der isolirenden Schichten geschieht.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, hat schon Poggendorff den Vorschlag gemacht, die secundäre Rolle aus mehreren kürzeren Rollen zusammenzusetzen, deren Enden mit einander leitend verbunden werden. Ruhmkorff hat diesen Vorschlag in seinen neueren Apparaten acceptirt und stellte die Inductionsrollen aus einzelnen Stücken her, indem er schmale Streifen der Rollen bis zur vollen Dicke windet und auf diese Weise die ganze Rolle aus solchen Einzelrollen zusammensetzt. Stöhrer hat in den von ihm construirten, vielfach in Verwendung stehenden Funkeninductoren die einzelnen Lagen nicht mehr so aufgewickelt, dass sie einen hohlen

Cylinder bilden, sondern so, dass eine Scheibe formirt wird, deren Ebene senkrecht auf der Axe der Spirale ist. Wenn die Windungen der einen Scheibe von Innen nach Aussen gehen, so gehen sie in der nächsten Scheibe von Aussen nach Innen zurück. — In dem Funkeninductor von Spottiswoode ist der secundäre Draht ebenfalls in einer Anzahl von Scheiben aufgewunden, welche durch Hartgummiplatten von einander getrennt sind. Dann sind die Theile des Drahtes, welche sich auf einem sehr verschiedenen Potentiale befinden, durch die Ebonitplatten von einander getrennt.

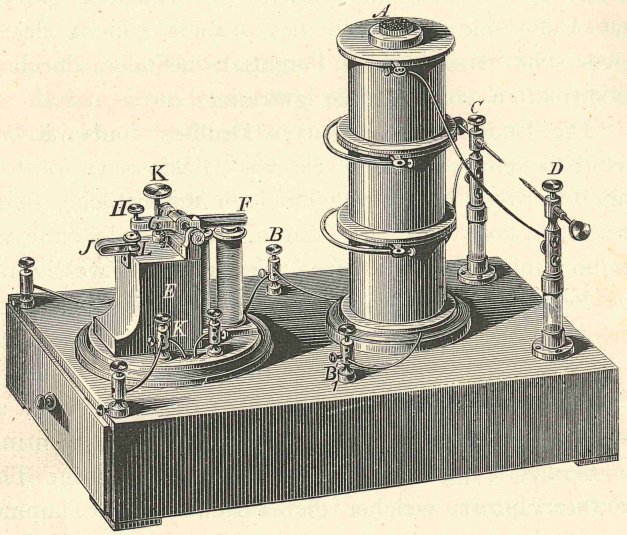
Die Enden des inducirten Drahtes sind mit zwei Metallstücken verbunden, die von Glasfüssen isolirt getragen werden; man kann die beiden Metallstücke, welche die beiden Pole vorstellen, durch Drähte in leitende Verbindung mit jenen Apparaten bringen, durch welche man eine Entladung senden will.

Unterbrechungs-Apparate.

Man hat mehrere Unterbrecher construirt. Der einfachste von ihnen ist der Unterbrechungshammer, der bereits früher beschrieben wurde. Derjenige Theil des Interruptors, welcher die Anziehung des Hammers bewirkt, ist entweder — wie wir es aus der obigen schematischen Figur ersehen — mit der Inductionsrolle in engster Verbindung, oder er ist von dem eigentlichen Funkeninductor getrennt. Im ersteren Falle verwendet man die alternirende Magnetisirung und Entmagnetisirung der in der secundären Spule befindlichen Eisendrähte selbst, um den Hammer in vibrirende Bewegung zu versetzen. Bei dem von Stöhrer construirten, in der

Fig. 63 dargestellten Apparate ist der Interruptor E aus einem Elektromagnete gebildet, der auf den Hammer GF wirkt, welcher um eine horizontale Axe drehbar eingerichtet ist; das eine Ende der inducirenden Spirale B ist mit dem um den Elektromagnet des Interruptors gewickelten Drahte in leitender Verbindung, das

Fig. 63.



zweite Ende des erwähnten Drahtes ist mit der metallischen Axe des Hammers GF verbunden. J stellt eine Kupferfeder vor, auf welche ein Stift H, der mit dem Hammer in Verbindung ist, drückt, wenn der letztere nicht angezogen wird; diese Kupferfeder steht mit der Klemmschraube K in leitender Verbindung. Die beiden einander gegenüberstehenden Flächen des Stiftes H und

der Kupferfeder J sind mit Platinplättchen überkleidet. Die Wirkungsweise dieses Interruptors ist leicht einzusehen: Der bei der Klemme K eintretende Batteriestrom geht zur Feder J, dem Stifte H, der Axe des Hammers, von da durch die Windungen des Elektromagnetes zur primären Spule und zur Batterie zurück. Es wird der Elektromagnet erregt, F von demselben angezogen und H von der Feder J abgehoben; dadurch tritt eine Stromunterbrechung ein, der Elektromagnet wird unmagnetisch und der Hammer durch eine in der Figur ersichtliche Feder in seine gewöhnliche Lage zurückgeführt; nun wiederholt sich der Vorgang in bestimmten Zeitintervallen.

Bei allen diesen Apparaten darf die Oscillations-Geschwindigkeit des Hammers nicht allzu gross sein, da man dann keine sehr starken Inductionsströme erhält. Der Grund dieser Erscheinung ist folgender: Es kann der bei der jedesmaligen Schliessung des inducirenden Stromkreises, wenn die Oscillations-Geschwindigkeit des Hammers eine zu bedeutende ist, gebildete Extrastrom noch nicht vollständig ablaufen, und deshalb erhält der Eisenkern nicht seine grösste Magnetisirung, in Folge dessen auch der Inductionsstrom ebenfalls nicht das Maximum seiner Intensität erreichen kann.

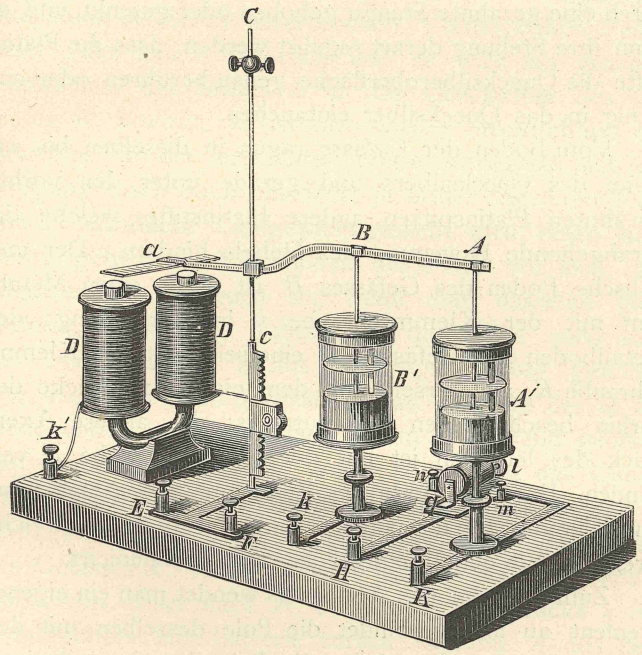
Von praktischem Interesse ist die von Sinsteden gemachte Beobachtung, dass, wenn die gegeneinanderschlagenden Theile des Unterbrechungs-Apparates nicht aus Platin, sondern aus anderen Metallen, wie etwa Silber, verfertigt sind, die Potential-Differenz und die Schlagweite zwischen den Polen der inducirten Spirale geringer wird. Es kommt unzweifelhaft diese Erscheinung daher, dass die Unterbrechung des inducirenden Stromes nicht genug

schnell vor sich geht, weil durch Theilchen der geschmolzenen Metalle die Leitung noch einige Zeit vermittelt wird. Platin ist viel widerstandsfähiger als andere Metalle und deshalb erfolgt die Interruption bei Anwendung von Platinlamellen schneller.

Eine sehr wichtige Vervollkommnung des Funkeninductors wurde durch die Anwendung des sogenannten Quecksilber-Interruptors von Foucault erreicht. Professor Poggendorff zeigte nämlich, dass es vortheilhafter ist, die Unterbrechung statt in Luft in schlecht leitenden Flüssigkeiten vor sich gehen zu lassen. Man erreicht nämlich dadurch eine raschere Unterbrechung des inducirenden Stromes, sowie auch einen schnelleren Verlauf des Oeffnungs-Inductionsstromes und daher auch eine grössere Intensität desselben. Der in der Luft an der Unterbrechungsstelle auftretende Funke unterhält nämlich noch einige Augenblicke die leitende Verbindung zwischen den getrennten Theilen, was auch die Verstärkung des Oeffnungsfunkens durch den Extrastrom fördert. Bei Anwendung einer schlecht leitenden Flüssigkeit wird die Bildung des Oeffnungsfunkens gehemmt, somit die Leitung schnell unterbrochen. Zu bemerken ist, dass man eine gar nicht leitende Flüssigkeit nicht in Anwendung bringen darf; denn in diesem Falle würden die durch die inducirende Spirale gegen die Unterbrechungsstellen getriebenen Elektricitäten in die Spirale zurückkehren und in derselben sich ausgleichen; es würde der verschwindende Strom von entgegengesetzter Richtung den Inductionsstrom bedeutend schwächen. Am besten eignet sich als Unterbrechungs-Flüssigkeit 80percentiger Alkohol oder Brunnenwasser.

Die Beschaffenheit des Foucault'schen Interruptors wird aus folgender Figur (Fig. 64) erkannt: Er besteht aus zwei Glasgefässen A' und B', welche Quecksilber enthalten, das mit Alkohol überdeckt ist. In diese

Fig. 64.



Gläser tauchen zwei Platinstifte A und B, welche an dem Arme eines Hebels aBA befestigt sind. Am anderen Hebelarme ist ein Anker aus weichem Eisen a befestigt, der durch einen Elektromagnet DD angezogen werden kann. Der Hebel aAB wird seinerseits von einem Stäb-

chen $c\,C$ getragen, welches Federkraft besitzt und leicht in Schwingungen versetzt werden kann. Oberhalb dieser Feder befindet sich ein verschiebbares Laufgewicht. Die Oscillationen, in welche die Feder geräth, wenn man sie anstösst, haben verschiedene Geschwindigkeit, wenn man die Lage des Laufgewichtes verändert. Diese Feder kann durch eine gezahnte Stange gehoben oder gesenkt, und es kann ihre Stellung derart regulirt werden, dass die Platinstifte die Quecksilberoberfläche genau berühren oder nur wenig in das Quecksilber eintauchen.

Vom Boden der Gefässe ragen in dieselben bis zur Höhe des Quecksilbers und gerade unter den vorhin erwähnten Platinspitzen andere Platinstifte, welche die herabgehende Bewegung des Hebels hindern. Der metallische Boden des Gefässes B' ist durch einen Metallarm mit der Klemmschraube k in Verbindung; der Metallboden des Gefässes A' einerseits mit der Klemmschraube K, andererseits mit dem einen Axenstücke des vorhin beschriebenen Commutators; das andere Axenstück des letzteren ist mit der Klemmschraube H verbunden. Das eine Ende des Elektromagnetdrahtes führt zur Klemme k', das andere Ende zur Feder c, welche ihrerseits mit dem Metallstücke EF communicirt.

Zum Betriebe des Apparates wendet man ein eigenes Element an und verbindet die Pole desselben mit den Klemmschrauben k und k'; die Polenden des inducirenden Stromes werden mit den Klemmschrauben m und n des Commutators verbunden. Die Drahtenden der inducirenden Rolle verbindet man mit H und F. Die Klemmschrauben E und K sind für die Einschaltung des Condensators in den Stromkreis der inducirenden Rolle bestimmt.

Nehmen wir nun an, der Platinstab B tauche in das Quecksilber, dann geht der Strom des Hilfselementes von k durch B' nach B, von da zur Feder c, durchfliesst die Windungen des Elektromagnetes und kehrt von k' zum Elemente zurück. Der Elektromagnet wird nun erregt, a angezogen, B aus dem Quecksilber herausgezogen und somit der Strom unterbrochen. Vermöge ihrer Federkraft geht nun $c\,C$ zurück und es wird ein erneutes Eintauchen des Stiftes B in das Quecksilber des Gefässes B' bewirkt, es ist also wieder Stromschluss eingetreten. In der erwähnten Weise wiederholt sich der Vorgang rasch nach einander; je höher das in der Nähe von C befindliche Laufgewicht gestellt wird, desto langsamer gehen die Vibrationen der Feder vor sich; am allerschnellsten werden sie, wenn man dasselbe ganz entfernt. Durch die Vibrationen der Feder wird auch das Platinstäbchen A aus dem Quecksilber gehoben und wieder in dasselbe gesenkt und dadurch der in der inducirenden Rolle cursirende Strom alternirend geöffnet und wieder geschlossen. Wenn etwa A in das Quecksilber des Gefässes A' taucht, geht der Batteriestrom von dem Axenstücke l des Commutators zum Quecksilber des Gefässes A', von da über c nach F zur inducirenden Rolle, von dieser nach H, dann zum Axenstücke q des Commutators zur Batterie zurück; kommt A aus dem Quecksilber heraus, so wird dieser inducirende Strom unterbrochen.

Die Quecksilber-Interruptoren haben ausser dem früher erörterten Vortheile noch jenen, dass die Contactstellen durch den Oeffnungsfunken nicht so leiden, wie bei Interruptoren, bei welchen die Unterbrechung in der Luft er-

folgt, und vielleicht sogar schmelzen; in den Quecksilber-Unterbrechern wird die Berührung der Contactstellen mit dem Sauerstoffe der Luft auch verhindert, und deshalb erfolgt keine Oxydation derselben. Anstatt in die Gefässe A' und B' Quecksilber zu giessen, kann man den Boden derselben mit Platinamalgam bedecken, das einen dickflüssigen Brei bildet, und auf dieses Amalgam erst Alkohol giessen.

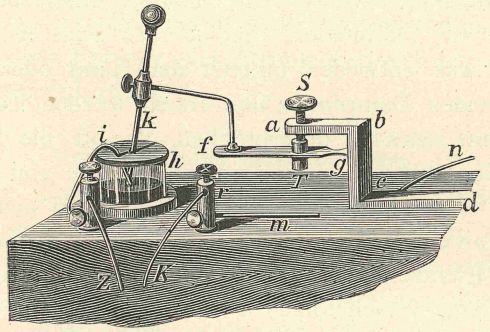
Der eben beschriebene Quecksilber-Unterbrecher wird in verschiedener Weise angewendet. Bei manchen derartigen Interruptoren sind zwei Commutatoren im Gebrauche, von denen der eine in den Kreis desjenigen Stromes eingeschaltet ist, der den Elektromagnet erregt, der andere sich aber im Stromkreise der primären Spirale befindet. — Bei manchen Inductions-Apparaten bedient man sich des Quecksilber-Interruptors mit einem einzigen Gefässe, zu dessen Erregung keine eigene Hilfsbatterie angewendet wird, sondern der in der inducirenden Spirale cursirende Strom dient. In diesen Apparaten ist der Elektromagnet das Bündel aus weichen Eisendrähten, welches sich im Innern der primären Spule befindet. Die bequemere Handhabung derartiger Inductions-Apparate hat deren vielfache Einführung gefördert.

Einen ähnlichen Unterbrecher hat Stöhrer in seinen neueren Apparaten gebraucht. Er ist in Fig. 65 dargestellt. Stöhrer hat in diesen Apparaten die inducirende und Inductionsspirale vertical aufgestellt (Fig. 63). Unter der primären Spirale befindet sich der horizontale Theil $c\,d$ des Eisenstückes $a\,b\,c\,d$, welches zweimal rechtwinklig gebogen ist, und es stehen auf dem Ende dieses Eisenstreifens die Eisendrähte auf, welche in der Höhlung des

Inducenten sich befinden. Am Ende des horizontalen Streifens $a\,b$ befindet sich eine eiserne Schraube S, welche unten etwas vorragt. $f\,g$ ist eine Messingfeder, welche einen eisernen Zapfen T trägt und deren Verlängerung einen Draht k trägt, dessen unteres Ende gerade in das Quecksilber des Gefässes h taucht und dessen oberer Theil in eine Kugel endigt.

Der von einer Batterie kommende Strom geht zur Klemmschraube, die in unserer Figur links gezeichnet

Fig. 65.



ist, von derselben durch einen Draht zum Quecksilber und zum Stifte k, der in dasselbe taucht, von da zur Messingfeder $f\,g$ und zu dem Eisenstücke $a\,b\,c\,d$; von diesem tritt der Strom durch den Draht n in die primäre Spirale ein; letztere durchläuft er und kehrt durch m und r zum zweiten Pole der Batterie zurück. Unter der Einwirkung des Stromes wird das mit dem Eisendrahtbündel in Contact stehende Eisenstück $a\,b\,c\,d$ magnetisch, ebenso die Schraube S, welche den Eisencylinder T anzieht. Durch die Schwingungen der Feder $f\,g$ wird der

Strom unterbrochen und die Feder schnellt wieder zurück. Ein derartiger Unterbrecher wird bei den kleineren Stöhrerschen Apparaten angewendet, bei den grösseren Funkeninductoren von Stöhrer werden die Vibrationen der Feder durch einen besonderen kleineren Elektromagneten bewirkt und unterhalten.

Ein anderer Unterbrechungsapparat wurde von Spottiswoode für Versuche in Geissler'schen Röhren construirt. Derselbe besteht aus einem Messingrade, welches eine Anzahl von radialen Spalten, die mit Ebonit ausgefüllt sind, enthält. Am Umfange desselben schleift eine leichte Platinfeder. Sobald das Rad in Rotation geräth, was entweder mittelst der Hand oder mittelst einer kleinen Dampfmaschine erzielt werden kann, wird ein Strom jedesmal unterbrochen, so oft die Feder an einem Ebonitstreifen angelangt ist. Andere von Spottiswoode angewandte Unterbrecher bestehen aus Federn, welche an einem Ende festgemacht sind und durch einen kleinen Elektromagneten ihrerseits bewegt werden. Bei Anwendung verschiedener Federn konnten in einer Secunde 700 bis 2500 Unterbrechungen gemacht werden.

Gordon hat in seinen berühmten Untersuchungen über specifische Inductions-Capacität einen Interruptor gebraucht, in welchem eine ausserordentliche Unterbrechungs-Geschwindigkeit stattfand. Dieser Unterbrecher besteht aus einer kleinen Elektromagnet-Maschine, deren Schwungrad ungefähr 2 Zoll im Durchmesser hat. Am Umfange des Rades befinden sich 60 Ausschnitte, die mit Ebonit gefüllt sind, und an denselben drückt eine schwache Feder. Der Batteriestrom läuft von der Batterie zur Schleiffeder, von dieser zum Rade, zur inducirenden Rolle und von derselben zum zweiten Pole der Batterie zurück. Wenn das Rad in Drehung versetzt wird, so wird der Strom bei jeder Umdrehung 60mal geschlossen und ebenso oft unterbrochen. Als Gordon vier grosse Grove'sche Elemente in Anwendung brachte, drehte sich das Rad 100mal in der Secunde, so dass der inducirende oder primäre Strom 6000mal in jeder Secunde unterbrochen und wieder geschlossen wurde.

Während die zuerst beschriebenen Interruptoren nach dem Principe des Neef'schen oder Wagner'schen Hammers construirt sind, beruhen die letztgenannten Apparate auf dem Principe der Stromunterbrechung mittelst des Blitzrädchens.

Vereinigung der Inductionsrollen.

Schon Foucault hat vier verschiedene Inductionsrollen hintereinander vereinigt und sie durch dieselbe Batterie gespeist und durch denselben Unterbrecher regulirt. Man erhält, wenn die Inductionsspulen nach Spannung miteinander verbunden sind, bei derselben Elektricitätsmenge eine viermal so grosse Potential-Differenz, als bei einer Spule. Verbindet man hingegen die gleichbezeichneten Pole miteinander, d. h. nach Quantität, so bleibt die Potential-Differenz dieselbe, wie bei einer Spule; hingegen ist die gelieferte Elektricitätsmenge das Vierfache jener im letztgenannten Falle erzeugten. Will man eine grossflächige Leydnerflaschen-Batterie schnell laden, so ist die Kuppelung nach Quantität die vortheilhaftere.

Um eine Gleichzeitigkeit der Wirkungen eintreten zu lassen, ist es nicht passend, den Batteriestrom succes-

sive durch die verschiedenen Inductionsrollen gehen zu lassen, sondern es empfiehlt sich, den Strom in vier Zweige zu theilen und jeden dieser Zweigströme in die verschiedenen Spulen zu senden.

In den heute am meisten angewendeten Inductionsrollen mit mehreren Abtheilungen wirkt derselbe inducirende Strom gleichzeitig auf die verschiedenen Inductionsrollen-Abtheilungen, welche nach Spannung aneinandergefügt sind; es wird daher die Potential-Differenz an den Enden des inducirten Drahtes durch diesen Vorgang gesteigert.

Zur Erregung von kleineren Inductionsrollen (30 bis 35 cm Länge) muss man drei oder vier grosse Bunsen'sche Elemente anwenden; für grosse Inductionsrollen ist es nach Ruhmkorff vortheilhaft, eine viermal grössere Elementenoberfläche zu wählen, als für kleine Inductions-Apparate.

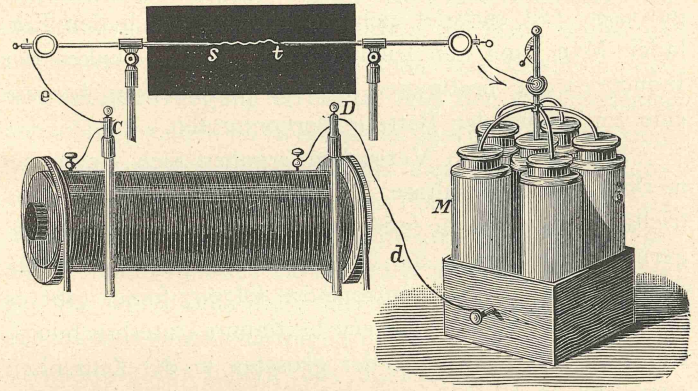
Ladung einer Leydnerflasche mittelst des Funkeninductors.

Die an den Polen des inducirten Drahtes angehäufte Elektricität ist von ausserordentlich grosser Spannung und kann zu allen Versuchen verwendet werden, welche man mit den Reibungs- und Influenz-Elektrisirmaschinen ausführen kann. Man kann auch mittelst des Inductoriums Leydnerflaschen laden. Diesbezüglich sind jedoch einige Bemerkungen nothwendig.

Die äussere Belegung der Leydnerflaschen-Batterie (Fig. 66) setzt man in leitende Verbindung mit dem einen Pole der secundären Spirale; die innere Belegung der Batterie verbindet man mit dem einen Arme des Entladers, dessen anderer Arm mit dem zweiten Pole der

Inductionsspirale leitend verbunden ist. Man muss nun dafür sorgen, dass die Spitzen des Entladers einander nicht zu nahe sind, denn es wäre sonst eine constante Ladung der Batterie unmöglich. Es würden nämlich in diesem Falle die Schliessungsschläge der inneren Belegung eine Elektricität zuführen, welche jener entgegengesetzt ist, die bei den Oeffnungsschlägen von s nach t überspringt. Man muss die Arme des Entladers von

Fig. 66.



einander weit entfernt halten, denn dann werden zwischen den Spitzen s und t nur Oeffnungsfunken überspringen und es wird eine constante Ladung erzielt. Mit einem grossen Funkeninductor kann man eine aus 6 Flaschen bestehende Leydnerflaschen-Batterie von je 30 Quadratdecimeter Belegung fast augenblicklich laden.

Man hat auch mittelst einer Leydnerflaschen-Batterie die von einem Funkeninductor in einer bestimmten Zeit erzeugte Elektricitätsmenge zu bestimmen gesucht. Zu

diesem Zwecke verbindet man die Belegungen der isolirten Batterie mit den Armen eines Entladers, welche um eine gewisse Schlagweite von einander entfernt sind. Gleichzeitig verbindet man die äussere Belegung der Batterie mit dem einen Pole der secundären Rolle, und die Verbindung der inneren Belegung der Batterie mit dem anderen Pole der Inductionsrolle wird durch eine ziemlich grosse Entfernung unterbrochen. Sobald zwischen den Polen der Inductionsrolle ein Funke entsteht, erhält die Batterie ein bestimmtes Elektricitätsquantum; nach Ablauf einer gewissen Zeit entladet sich die Batterie durch den Entlader. Man kann nun leicht die Anzahl der Funken der Inductionsrolle bestimmen, welche nothwendig ist, um eine Entladung der Batterie hervorzurufen.

Aus derartigen Versuchen ergaben sich einige bemerkenswerthe Resultate. So erfuhr man, dass die Elektricitätsmenge, welche jedem der Funken entspricht, rasch geringer wird, wenn die Unterbrechungen des inducirenden Stromes zu rasch aufeinander folgen; ferner gibt es bei gegebener Schlagweite eine bestimmte Unterbrechungs-Geschwindigkeit, welche der grössten in der Zeiteinheit abgegebenen Elektricitätsmenge entspricht; anderntheils gibt es eine Unterbrechungs-Geschwindigkeit, unter der die Funkenanzahl, welche nothwendig wird, um bei gegebener Schlagweite die Entladung der Batterie hervorzurufen, constant ist.

Es ist im Allgemeinen die Funkenanzahl der Capacität der Batterie und der Distanz der Kugeln des Entladers proportional. Wenn man die Entfernung der beiden Spannungspole der Inductionsrolle vergrössert, so wird die Elektricitätsmenge für jeden Funken schnell kleiner.

Zu diesem Resultate gelangte ebenfalls Professor Mascart, wobei er einen grossen Funkeninductor, der von acht Bunsen'schen Elementen gespeist wurde, anwendete. Dieser Inductor konnte zwischen einer Spitze und einer Scheibe in der Luft 37 cm lange Funken geben, wobei die Spitze als positiver Pol, die Scheibe als negativer Pol angewendet wurde. Als Batterie verwendete er eine aus 6 Flaschen bestehende; die Schlagweite der Inductionsrollen-Funken, sowie jene der Batteriefunken wurde in den verschiedenen Experimenten vielfach variirt. Die Interruptionen des inducirenden Stromes wurden mittelst der Hand vollzogen und waren so langsam, dass man das Maximum der Elektricitäts-Erzeugung erreichte. Aus den verschiedenen Beobachtungsreihen ist zu erkennen, dass die zur Erzeugung eines Funkens der Inductionsrolle dienliche Elektricitätsmenge geringer wird, wenn die Potential-Differenz der Batterie grösser wird. Dass der Elektricitätsdebit wächst, wenn die Intensität des inducirenden Stromes bedeutender wird, ist begreiflich; doch darf man in dieser Beziehung nicht zu weit gehen, da wegen der bedeutenden Potential-Unterschiede im Innern des inducirten Drahtes leicht Entladungen stattfinden könnten.

Wirkungen der Funkeninductoren.

Wir wollen im Nachfolgenden die Wirkungen der Inductionsströme, wie sie von Funkeninductoren erzeugt werden, in aller Kürze beschreiben, da dies in den vorhergehenden Bänden dieser Bibliothek nicht geschehen ist; eine detaillirtere Darstellung und Erörterung der hierher gehörigen Phänomene würde die Grenzen dieses Buches weit überschreiten.

Der Inductionsstrom dieser Apparate zeigt physiologische, Wärme-, chemische, mechanische und Lichteffecte.

Die physiologischen Effecte der Inductoren sind so bedeutend, dass man bei der Handhabung eines grösseren Funkeninductors die grösstmögliche Sorgfalt anwenden muss, um keinen Schaden zu erleiden. Die Anwendung zweier Bunsen'schen Elemente in der inducirenden Spirale in einem mittelgrossen Apparate reicht hin, um auch grössere Thiere, z. B. Kaninchen, zu tödten.

Was die calorischen Wirkungen betrifft, so kann man sie nachweisen, wenn man zwischen den Enden des inducirten Drahtes etwa einen sehr feinen Eisendraht spannt; derselbe wird geschmolzen und zersplittert unter sehr lebhafter Lichterscheinung. Lässt man jeden der Pole des Inductionsdrahtes in einen sehr feinen Eisen draht ausgehen und bringt diese Eisendrähte in Contact, so schmilzt nur jener, welcher mit dem negativen Pole verbunden ist, wodurch der Beweis hergestellt wird, dass die elektrische Dichte am negativen Pole bedeutender als am positiven ist.

Die chemischen Wirkungen des Inductionsstromes offenbaren sich in der Wasserzersetzung, der Zersetzung von Jodkalium u. dgl. Um polare Erscheinungen zu erhalten, muss die Leitung der Inductionsrolle an irgend einer Stelle unterbrochen werden, damit nur der Oeffnungsstrom den Elektrolyten durchwandere. Ist dies nicht der Fall, dann treten z. B. bei der Wasserzersetzung an beiden Polen die Ionen auf; feuchtes Jodkaliumpapier mit den Elektroden in Berührung gebracht, zeigt an beiden blaue Flecke. Meist werden die chemischen Erscheinungen durch die Wärme- und mechanischen Effecte complicirt.

Von besonderem Interesse sind die Lichteffecte. Dieselben sind verschieden, je nachdem man die Entladung durch Gase von gewöhnlichem Drucke oder sehr verdünnte Gase oder Dämpfe von sehr geringer Spannung stattfinden lässt.

Im ersteren Falle bemerkt man, dass der eigentliche Funke, eine von einem Pole zum anderen reichende helle Lichtlinie, von einer breiteren Lichthülle, der Aureole, umgeben ist, welche am positiven Pole mit röthlichem, am negativen Pole mit bläulichem Lichte leuchtet, welche beide Theile durch einen dunklen Raum von einander geschieden sind. Während aus der Farbe des eigentlichen Funkens zu entnehmen ist, dass derselbe von der materiellen Beschaffenheit der Elektroden, zwischen denen er überspringt, abhängt, zeigt die Beschaffenheit der Aureole, dass sie ihr Dasein dem durchbrochenen ins Glühen versetzten Gase verdankt; die Aureole entsteht später und dauert länger als der Funke und lässt sich von letzterem wegblasen. Die Aureole hat zündende Wirkung, der Funke hauptsächlich mechanische Wirkung (Versuch mit einem Papierstücke, das mit Terpentinöl getränkt ist).

In sehr verdünntem Gase (z. B. in einem elektrischen Ei) wird die Aureole immer grösser und grösser, und es hört bei fortgesetzter Evacuation der eigentliche Funke ganz auf. Der positive Pol zeigt eine besonders lebhafte Lichterscheinung; derselbe besitzt rothes intensives Licht, während der negative Pol schwach und in violettem Lichte leuchtet; dieses letztere erstreckt sich über die

ganze negative Elektrode, was am positiven Pole nicht stattfindet.

Schon mit dem elektrischen Ei kann man eine sehr interessante Beobachtung vornehmen. Bringt man nämlich in dasselbe einige Tropfen Terpentinöl, Holzgeist, Alkohol oder Schwefelkohlenstoff, so erscheint das Licht geschichtet, indem alternirend helle und dunkle Zonen aufeinanderfolgen; diese Schichtung tritt besonders am positiven Pole deutlich auf, erstreckt sich aber nahe bis an den negativen Pol der Inductionsspule. Die einzelnen leuchtenden und dunklen Zonen scheinen eine doppelte Bewegung, eine undulatorische und eine Wirbelbewegung zu besitzen.

Insbesondere dann erscheinen die Streifen sehr scharf und haben eine feste Lage, wenn man den Unterbrechungs-Apparat in langsame Oscillationen versetzt. Die Streifung des Lichtes wird auch in dem Falle wahrgenommen, wenn man die Lichterscheinung nur momentan durch eine einzige Interruption des Hauptstromes hervorbringt.

Bemerkt sei an dieser Stelle, dass die mittelst eines discontinuirlichen Stromes hervorgerufenen Phänomene auch dann entstehen, wenn man einen continuirlichen Strom anwendet; nur erfordert der letztere eine beträchtliche Anzahl z. B. von Bunsen'schen Elementen, während der discontinuirliche Strom der Ruhmkorff'schen Spirale eine kleine Anzahl Elemente erheischt und eine Vervielfältigung der Elemente die Lichteffecte kaum verstärkt. Diesbezügliche Versuche wurden von Desprez angestellt.

Die Lichterscheinungen, welche man mittelst des Funkeninductors hervorrufen kann, treten in der That

bei jeder Interruption des inducirenden Stromes stossweise auf, wie man leicht erkennen kann, wenn man z. B. die Hand in der Nähe des von der Elektricität durchströmten elektrischen Eies hin- und herbewegt; man glaubt dann die Hand vielfach zu sehen.

Ganz besonders deutlich treten die Lichterscheinungen des Inductionsfunkens in den von dem kürzlich verstorbenen Mechaniker Geissler in Bonn construirten, nach ihm benannten Röhren auf, welche auch schon von Gassiot, der diese Phänomene eingehend studirte, benützt wurden. In diese Röhren werden verschiedene Gase oder Dämpfe eingeführt und mittelst einer Quecksilber-Luftpumpe der Raum ungefähr auf $^1/_2$ mm Quecksilberdruck evacuirt. An den beiden Enden der Röhren befinden sich 2 Platindrähte in dieselben eingeschmolzen, die bis auf 1 oder 2 cm in diese hineinragen. Sobald man diese beiden Drähte mit den Polen der Ruhmkorff'schen Spirale verbindet, zeigen sich in der ganzen Länge der Röhre prächtige Lichteffecte, helle Zonen, die durch dunkle Streifen von einander geschieden sind. Diese hellen Zonen variiren mit dem Grade der Verdünnung, der Natur des eingeschlossenen Gases oder Dampfes und den Dimensionen der Röhre an Gestalt, Farbe und Intensität. Das violette Glühlicht erscheint am negativen Pole, die Schichtung tritt wieder am positiven Pole deutlich hervor.

In Geissler'schen Röhren, die mit Wasserstoff gefüllt sind, ist das Licht in den weiteren Theilen der Röhre blassroth, in den Capillarröhren hingegen intensiv roth. — Auch die Intensität des Stromes hat auf die Farbe des glühenden Gases in den Geissler'schen Röhren beträchtlichen Einfluss. So wird bei Anwendung einer Wasser-

stoff enthaltenden Röhre bei schwächer werdendem Strome der Lichtschein schwächer und mehr orangeroth.

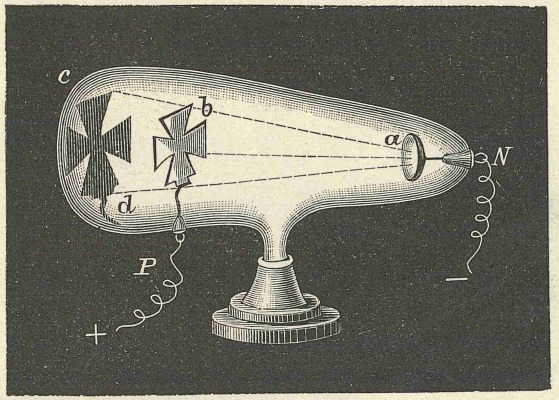
Manche Glassorten zeigen beim Durchgange der elektrischen Entladung eine schöne Fluorescenz, welche im Vereine mit dem Lichtschimmer des durchströmten Gases einen netten Anblick bietet.

Wenn man den Inductionsstrom längere Zeit hindurch in derselben Richtung durch eine Geissler'sche Röhre leitet, so findet man die Stellen der Glaswand, welche der negativen Elektrode am nächsten stehen, mit einem metallischen Anfluge bedeckt. Die negative Elektrode erscheint selbst aufgerissen. Unzweifelhaft entsteht der metallische Anflug durch abgerissene Elektrodentheilchen, welche in sehr fein vertheiltem Zustande vorhanden sind. Gewisse Metalle, z. B. Aluminium, scheinen in dieser Beziehung widerstandsfähiger zu sein.

Eigenthümlich sind die Phänomene, welche der Inductionsfunke in sehr stark verdünnten Gasen hervorruft; diese Erscheinungen hat bereits Hittorf (1869) beobachtet; eingehend studirt wurden sie von Crookes und dem österreichischen Physiker Puluj. Es kann hier nicht der Platz sein, auf die diesbezüglichen Versuche und Beobachtungen ausführlich einzugehen; der sich für dieselben interessirende Leser sei auf die Schriften Crookes' über die »strahlende Materie« und jene Puluj's über die »Elektroden-Materie« verwiesen. Es soll hier nur Folgendes erwähnt werden: In ausserordentlich verdünnten Gasen breitet sich das an der negativen Elektrode erscheinende bläuliche Glimmlicht immer weiter aus und kann sich über die ganze Röhre verbreiten. An jenen Stellen, an welchen von dem Glimmlichte die Glaswände

getroffen werden, zeigen sich die letzteren lebhaft fluorescirend, was auf eine bedeutende moleculare Erregung hinweist. Während sonst der Inductionsfunke Biegungen der Röhren durchsetzt, breitet sich das negative Glimmlicht in hochverdünnten Räumen geradlinig aus, und jeder in dasselbe gestellte Körper hemmt den Fortgang des Glimmlichtes, so dass der Körper auf der entgegen-

Fig. 67.

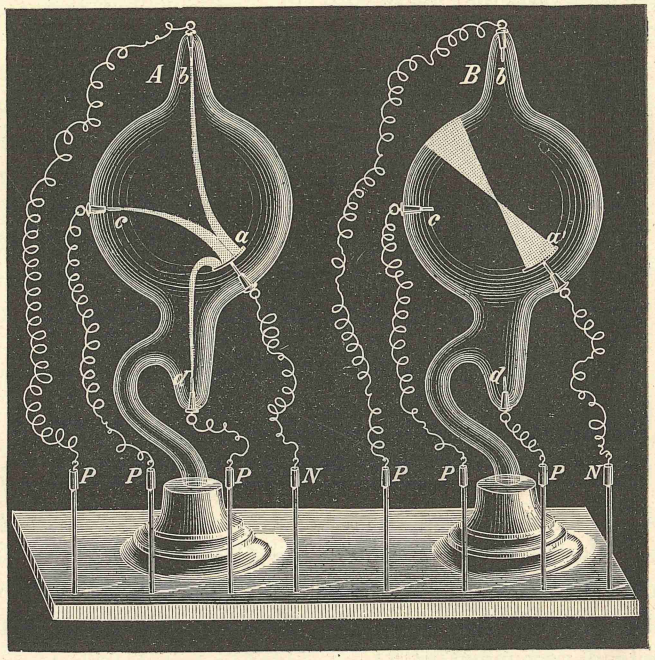


stehenden Glaswand einen Schatten wirft. Das zeigt die beistehende Figur 67, welche der Crookes'schen Abhandlung entnommen ist. *b* bedeutet ein Aluminiumkreuz, welches mit dem positiven Pole der Inductionsspirale leitend verbunden ist.

Die geradlinige Fortpflanzung des negativen Glimmlichtes wird unter Anderem durch einen von Crookes angegebenen Apparat demonstrirt. Es wird (Fig. 68) ein Glasballon angewendet, in welchem die positiven Elektroden drei Platinspitzen *b*, *c* und *d* sind; die negative

Elektrode stellt einen Aluminium-Hohlspiegel *a* vor. Hat man die Verdünnung noch nicht weiter als bis 2 mm Quecksilberdruck ausgeführt, so erstreckt sich das Licht in krummen Bahnen von *a* gegen *b*, *c* und *d*; wird aber

Fig. 68.



der Raum ausserordentlich evacuirt, so schiessen aus dem Hohlspiegel gerade Lichtstrahlen aus, die sich im Brennpunkte des Spiegels durchkreuzen und auf die gegenüberliegende Wandfläche erstrecken, welche sie zur Fluorescenz erregen.

Die Strahlen des Glimmlichtes haben im hohen Grade calorische Kraft, und es ist Crookes gelungen, das so schwer schmelzbare Iridiumplatinmetall zum Schmelzen zu bringen, wenn er dasselbe in den Focus eines Aluminium-Hohlspiegels brachte, der als negative Elektrode diente. Auch mechanische Effecte ruft das Glimmlicht hervor; so kann ein leicht drehbares Glimmerrädchen, welches von dem Glimmlichte getroffen wird, in rasche Drehung versetzt werden. Das Studium des sogenannten »elektrischen Radiometers« wurde besonders von Puluj gepflegt.

Nun noch einige Worte über die Erklärung dieser interessanten und prächtigen Erscheinungen.

Um die Erscheinungen in hochverdünnten Gasen zu erklären, nimmt Crookes an, dass das zurückgebliebene Gas sich in einem eigenthümlichen ultragasigen Zustande befinde, den er den vierten Aggregatzustand nennt und kurzweg als strahlende Materie — ein Ausdruck, der bereits von dem berühmten Physiker Faraday gebraucht wurde — charakterisirt. Nach Crookes würden sehr kleine untheilbare Theilchen, in welche das Gas im höchsten Grade der Verdünnung — Crookes will eine solche bis ein Milliontel Atmosphärendruck erzielt haben — aufgelöst wird, die strahlende Materie ausmachen. Bei der erreichten ausserordentlichen Verdünnung soll die mittlere Entfernung, welche ein Molecül durchlaufen kann, ehe es ein anderes trifft, so gross werden, dass sich die physikalischen Eigenschaften des Gases gänzlich verändern. Es wäre daher möglich, dass die Ueberfuhr der Elektricität allein oder doch wenigstens vorwiegend durch die von der negativen Elektrode weggeschleuderten Gas-

molecüle zu Stande kommt. Zu bemerken wäre, dass bei geringen Druckverhältnissen des Gases das Ausfliessen der Elektricität an der negativen Elektrode früher beginnt, als an der positiven.

Diesen Ansichten von Crookes sind mehrere Physiker entgegengetreten. Ein Zerfallen in Uratome, also der Uebergang in einen Zustand, der von dem gasigen weit entfernt ist, erfordert viel mächtigere Energiequellen, als jene es sind, über die wir bis jetzt verfügen. Uebrigens ist für die Erscheinungen in hochverdünnten Räumen kein so hoher Verdünnungsgrad nothwendig, wie er von Crookes angegeben wird. Ein mässiger Strom (2 cm Funkenlänge) geht z. B. bei $^1/_{100}$ mm Quecksilberdruck nicht mehr durch die Röhre.

Ganz ungezwungen lassen sich alle diesbezüglichen Erscheinungen erklären, wenn man mit Puluj annimmt, dass von der negativen Elektrode Theilchen losgerissen werden, welche mit statischer negativer Elektricität geladen sind und mit enormer Geschwindigkeit geradlinig sich progressiv fortbewegen. Es ist also nach Puluj strahlende Elektrodenmaterie, welche die Phänomene, von denen wir oben einige erörterten, veranlasst. Die negativ geladenen Theilchen behalten ihre Geschwindigkeit so lange bei, bis ihnen ein Hinderniss in den Weg gestellt wird. Es findet die Elektricitätsleitung nicht in Form eines elektrischen Stromes, sondern durch die mechanische Fortführung mittelst der negativ elektrischen Körpertheilchen statt.

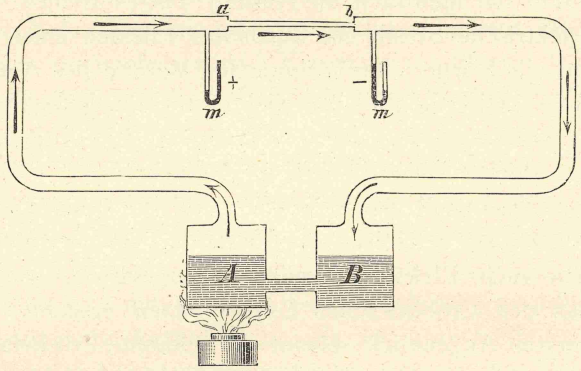
Die Erscheinungen der Phosphorescenz und Fluorescenz werden nach dieser Hypothese dadurch erklärt, dass die lebendige Kraft, welche den bewegten Elektrodentheilchen innewohnt, transformirt, d. h. in andere Energieformen verwandelt wird.

Ein sicherer Beweis dafür, dass der elektrische Strom in hochverdünnten Gasen durch Fortführung elektrischer Theilchen entsteht, ist durch die Erscheinung erbracht, dass zwei Ströme strahlender Elektrodenmaterie eine Abstossung auf einander ausüben, was in dem Falle, als wir es hier mit gewöhnlichen elektrischen Strömen zu thun hätten, nicht stattfinden könnte.

Man hat mehrfach die Ansicht ausgesprochen, dass der elektrische Strom ein wirkliches Fliessen einer sehr feinen, alle Körper durchdringenden Materie des Aethers sei. Die Aethertheorie der Elektricität wurde von mehreren namhaften Physikern, so von Angelo Secchi in seinem Buche (»Die Einheit der Naturkräfte«), Edlund u. A. überzeugend ausgesprochen und die Consequenzen aus derselben deducirt. In Folge der Aetherströmung werden auch Elektrodentheilchen mitgerissen, wie wir es aus den Crookes'schen Experimenten ersehen. Für den ersten Augenblick scheint die bekannte Erscheinung, dass in einer elektrischen Lampe Kohlentheilchen von der positiven Elektrode zur negativen überführt werden, mit den Phänomenen in hochverdünnten Gasen, in welchen ein Transport von Elektrodentheilchen im entgegengesetzten Sinne statthat, im Widerspruche zu stehen. Aber auch diese Erscheinungen lassen sich leicht in Einklang bringen, wenn man annimmt, dass die Elektricität eine Aetherströmung ist und wenn man den bedeutenden Unterschied in den Widerständen berücksichtigt, welche das zwischen den Elektroden befindliche Gas in beiden Fällen dem Elektricitäts-Uebergange entgegensetzt.

Puluj hat sich bei der Erklärung dieser Erscheinungen auf folgenden sehr leicht zu verstehenden Versuch gestützt: Denken wir uns zwei mit einander verbundene Röhren *a* und *b* (Fig. 69), welche von Dampf durchströmt werden, der in *A* erzeugt und überhitzt wird, in *B* eine Condensation erfährt. Die beiden Röhren sind durch ein Capillarrohr mit einander in Verbindung gesetzt und es sind an den Stellen *a* und *b* Manometer an die Röhren

Fig. 69.



angesetzt. Strömt nun der Dampf in der gezeichneten Richtung durch das Röhrensystem, so ist begreiflich, dass an der Stelle *a*, also beim Uebergange der weiteren Röhre in die Capillarröhre, ein Stauen, somit ein Dampfüberschuss eintreten wird. An der Stelle *b*, an welcher der Dampf vom engen Rohre in das weitere übertritt, findet eine Verdünnung des Dampfes statt. Hätte man aber statt des Capillarrohres ein Rohr mit den beiden seitlichen Röhren in Verbindung gesetzt, welches einen grösseren Querschnitt als diese besitzt, so hätten die

Manometer einen entgegengesetzten Gang der Erscheinung angezeigt: in *a* tritt in diesem Falle Dampfverdünnung, in *b* Dampfstauung ein.

Ganz analoge Verhältnisse treten ein, wenn ein Leiter von Elektricität, d. h. von einem Aetherstrome durchflossen wird. Ein Stauen des Aethers an einer Stelle, also ein Ueberschuss desselben an dieser Stelle, entspricht, wenn wir an der Franklin'schen Hypothese festhalten, einer freien positiven Spannung; eine Aetherverdünnung, d. h. ein Mangel desselben an einer bestimmten Stelle, gibt sich an dieser als freie negative Spannung kund. Befindet sich zwischen den beiden Leiterenden *a* und *b* Luft unter gewöhnlichem Drucke, also von grossem elektrischen Widerstande, wie es bei der elektrischen Lampe der Fall ist, so circulirt der Aetherstrom von der positiven Stelle *a* gegen die negative *b* und führt in diesem Sinne Elektrodentheilchen von der positiven Elektrode gegen die negative, ebenso wie ein Luftstrom, der durch eine Röhre geschickt wird, z. B. Staubtheilchen in derselben Richtung mitführen wird. Ist aber der zwischen den Leiterenden *a* und *b* befindliche Widerstand klein, was in Geissler'schen Röhren, in denen die Verdünnung sehr weit getrieben ist, stattfindet, dann fliesst der Aetherstrom wieder von der Stelle *a*, welche die negative Elektrode jetzt vorstellt, zur positiven Elektrode *b*, und es werden jetzt negative Elektrodentheilchen im Sinne des Stromes mitgeführt.

Die positive freie Spannung an der einen Stelle, die negative freie Spannung an der anderen Stelle sind auch elektrometrisch beobachtet worden, ebenso eine indifferente zwischen den ebengenannten liegende, welche gegen

andere Körper weder positiv noch negativ elektrisch sich erweist. Solche indifferente Stellen dürften auch in einer Geissler'schen Röhre an mehreren Punkten vorkommen; wahrscheinlich sind alle dunklen Stellen im positiven Lichtbüschel Schichten von der Spannung Null. Die Entstehung dieser Schichten kann durch die intermittirenden Entladungen und die durch dieselben bewirkten Verdichtungen und Verdünnungen des Gases in der Röhre erklärt werden. An den Stellen, an welchen sich das verdünnte Gas befindet, ist der Widerstand geringer, als an jenen, an welchen eine Gasverdichtung stattfindet; deshalb werden entsprechend den obigen Auseinandersetzungen an den Ein- und Austrittsstellen in die Verdichtungen alternirend positive und negative Spannungen entstehen. An der Stelle der grössten Verdichtung wird positive, an der Stelle der grössten Verdünnung negative freie Spannung entstehen und dazwischen werden die Orte mit der Spannung Null sich befinden.

Diese wenigen Andeutungen über die Theorie der Phänomene in hochverdünnten Gasen mögen genügen, um ein Bild derselben zu geben.

Erwähnenswerth ist noch der Umstand, dass auf das in den Geissler'schen Röhren entstandene Licht Magnete in derselben Weise wirken, wie auf bewegliche Stromleiter im Allgemeinen. Es können, wie schon von Delarive gezeigt wurde, die im evacuirten Raume übergehenden Lichtfäden um einen Magnetpol so rotiren, wie man dieselbe Erscheinung am Davy'schen Lichtbogen oder einem anderen beweglichen Leiter beobachtet.

Sehr schön sind die Erscheinungen, welche das in hochverdünnten Räumen erzeugte Glimmlicht Magneten

gegenüber zeigt. Es lassen sich, wie Puluj in seiner akademischen Schrift: »Strahlende Elektrodenmaterie« ausführlich darlegte, alle Wechselwirkungen zwischen dem Magnete und einem Strome Elektrodenmaterie erklären und voraussagen, wenn man die Gesetze der elektrischen Convection der Molecüle mit der Ampère'schen Regel combinirt. Es kann nämlich jedes mit statischer Elektricität geladene Elektrodentheilchen, das sich in fortschreitender Bewegung befindet, in seinem Verhalten gegen einen Magnetpol so betrachtet werden, wie ein mit der Bewegungsrichtung positiv geladener Theilchen gleichgerichteter, oder der Bewegungsrichtung negativ geladener Theilchen entgegengesetzt fliessender positiver elektrischer Strom. Es stellt in Wirklichkeit ein jedes eine gewisse Strecke durchsetzendes Theilchen einen Elementarstrom vor. Wir haben nun oben gesehen, dass die negativ geladenen Elektrodentheilchen sich von der negativen gegen die positive Elektrode bewegen, und es ist daher die Wirkung eines solchen Stromes von Elektrodentheilchen auf einen Magnetpol dieselbe, wie jene eines positiven galvanischen Stromes, der vom positiven gegen den negativen Pol abfliesst. Alle jene Erscheinungen, welche von Hittorf, Plücker, Reitlinger und anderen Physikern beobachtet wurden, ergeben sich unter der Annahme der eben gemachten Hypothese sehr einfach.

III.

Fernere Generatoren hochgespannter Elektricität.

Die im Vorigen angegebenen Apparate, die Reibungs- und Influenz-Elektrisirmaschinen, der Ruhmkorff'sche Funkeninductor, sind die vorzüglichsten und am meisten angewandten Mittel, um auf zwei Conductoren eine bedeutende Potential-Differenz herzustellen. Ausser diesen Apparaten hat man noch die Gramme'sche Maschine mit Wechselströmen so modificirt, dass sie Ströme liefert, welche jenen einer Ruhmkorff'schen Spirale gleichwerthig sind, d. h. mit einer hohen Spannung auch bedeutende Elektricitäts-Quantitäten vereinigen. Doch wollen wir auf diese untergeordnete Anwendung der Gramme'schen Wechselstrommaschine nicht näher eingehen, und wir bemerken nur, dass Jamin und Maneuvrier im Jahre 1881 mit einer derartigen modificirten Maschine alle Wirkungen eines Funkeninductors hervorriefen, aber mit einer unvergleichlich grösseren Intensität. Die Lichteffecte im luftleeren Raume oder in verdünnten Gasen sind von einer bemerkenswerthen Schönheit. Die physiologischen Effecte sind ebenfalls von enormer Intensität. Jedenfalls sind diese Versuche, durch welche dargethan ist, dass man auch mittelst der Gramme'schen Maschinen Elektricität von sehr starker Spannung erzeugen kann, bemerkenswerth, und es ist wohl anzunehmen, dass weitere diesbezügliche Studien in nächster Zeit gemacht werden.

Accumulatoren. Rheostatische Maschine.

Wir haben noch einiger Generatoren hochgespannter Elektricität zu gedenken, deren Constructionsprincip von dem französischen Physiker Gaston Planté vor einiger Zeit angegeben wurde. In der von ihm construirten »rheostatischen Maschine« besitzt man ein Mittel, um ausserordentlich grosse Potential-Differenzen auf zwei Conductoren herzustellen. Es werden in dieser Maschine Ströme von schwacher Potential-Differenz (also Volta'sche Ströme) in solche von bedeutender Spannung transformirt, was übrigens auch beim Funkeninductor von Ruhmkorff der Fall ist.

Zum Verständniss der Construction, Ladungs- und Wirkungsweise der rheostatischen Maschine von Planté erweist es sich als nothwendig, etwas tiefer auf die früheren Forschungen dieses Physikers zurückzugehen. Bekanntlich war Planté der Erste, welcher eine sogenannte Secundärbatterie construirte, die eine praktische Verwerthung möglich machte und in der, wie in jeder Secundärbatterie, man von dem Polarisationsstrome, der durch einen primären Strom erregt wird, Gebrauch macht.

Planté wendet in einer Zersetzungszelle, die mit Schwefelsäurehydrat gefüllt ist, als Elektroden zwei Bleiplatten an. Wird durch dieses Elektrodenpaar und die zwischenliegende Flüssigkeit ein Strom von zwei Bunsen'schen Elementen, der vollkommen genügend ist, gesendet, so tritt eine Zerlegung des Schwefelsäurehydrates ein; an der Kathode bildet sich freier Wasserstoff, an der Anode hingegen eine Schicht von Bleisuperoxyd. Da in der Regel durch das Stehen an der Luft die Bleiplatten oxydirt sind, so wird die Kathode durch den

Wasserstoff zu reinem Blei reducirt. Verbindet man nun die durch diese chemischen Processe modificirten Elektroden metallisch mit einander, so entsteht ein Polarisationsstrom oder ein Secundärstrom von ungefähr 1·9 Volt. Es tritt durch diesen Strom ein neuerliches Zerlegen der Schwefelsäure ein; an der mit Bleisuperoxyd überzogenen Platte bildet sich Wasserstoffgas, an der reinen Bleiplatte hingegen Sauerstoff; die beiden Bleiplatten werden nach kurzer Zeit mit Bleioxyd überzogen und sind dann gegen einander elektrisch indifferent, weshalb der Secundärstrom aufhört. Von der Quantität des gebildeten Bleisuperoxydes hängt die Ladung des Secundärelementes oder Accumulators ab, d. h. von der Intensität und der Dauer des primären Stromes. Die Maximalladung des Accumulators, welche man meist mit dem Namen »Capacität« desselben bezeichnet, ist von dem Gewichte des Bleies abhängig und wächst mit demselben.

Zur Verkleinerung des Elementenwiderstandes hat Planté die Oberflächen der Bleielektroden gross gemacht (in den Versuchen Planté's war dieselbe $^1/_2$ Quadratmeter); dann wird auch die Bildung des Bleisuperoxydes beschleunigt, d. h. die Ladungszeit verringert. Zwei derartige Bleiplatten werden durch zwei etwa 0·5 cm dicke und wenig breite Kautschukstreifen von einander getrennt und dann spiralförmig auf einander gewickelt. Die beiden Elektroden werden durch ein oben angebrachtes kreuzförmiges Hartgummistück zusammengehalten. Von den Bleielektroden gehen noch Bleistreifen aus, die als Pole fungiren.

Im weiteren Verlaufe seiner Untersuchungen hat Planté gefunden, dass ein Accumulator seiner Construction, um recht wirksam zu sein, vorbereitet werden müsse.

Damit nämlich der Sauerstoff recht tief in das Blei eindringe und so viel als möglich Bleisuperoxyd gebildet werde, muss das Element viele Male hinter einander geladen und entladen werden. Dann zeigte sich das Element besonders wirksam, wenn die alternirenden Ladungen im entgegengesetzten Sinne vorgenommen wurden; das bei einer Ladung entstandene Bleisuperoxyd wird nämlich durch die nachfolgende entgegengesetzte Ladung in körniges und poröses Blei verwandelt, welches den Sauerstoff leichter eindringen lässt. Es reicht ein einmaliges nicht langes Laden des Secundärelementes mittelst zweier Bunsen'schen Elemente hin, um das Maximum der Wirkung zu erreichen, und es kann ein derartiges gut vorbereitetes und geladenes Element von Planté nach zwei oder drei Wochen einen Bleidraht von $^1/_2$ mm Durchmesser in Rothglühhitze versetzen. Das an der positiven Elektrode eines geladenen Elementes gebildete Bleisuperoxyd wird oberflächlich in Bleisulfat verwandelt, welches einen schützenden Ueberzug bildet, indem es die weitere Zersetzung des Bleisuperoxydes verhindert. Wegen dieser vortheilhaften Wirkung der Schwefelsäure auf das Blei und dessen Oxyd wählt man immer diese Combination bei der Construction von Secundärelementen.

An dem Planté'schen Accumulator ist wohl der misslichste Uebelstand jener, dass die Vorbereitung desselben lange Zeit und viel Sorgfalt erheischt. Es sind deshalb im Laufe der Zeit mehrere Accumulatoren construirt worden, bei denen man einerseits die Vorbereitungszeit abkürzte, andererseits die Capacität eines Elementes bei demselben Gewichte beträchtlich steigerte. Es ist

hier nicht der Platz, auf diese Modificationen des Planté'schen Accumulators einzugehen, und wir verweisen in dieser Beziehung den Leser auf den vierten Band dieser Bibliothek.

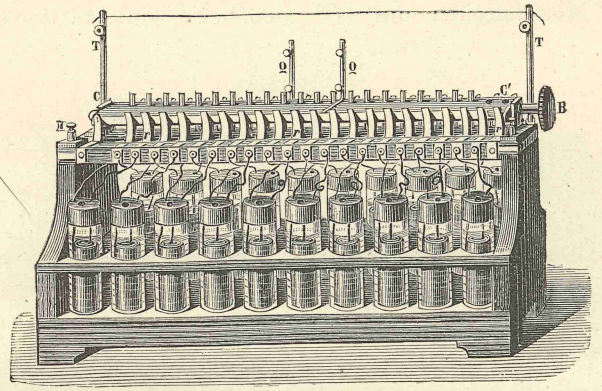
Man kann secundäre Elemente entweder nebeneinander (nach Quantität) oder hintereinander (nach Spannung) combiniren. Die Accumulatoren erweisen sich dann besonders vortheilhaft, wenn es sich darum handelt, Elektricität von geringer Spannung in solche von bedeutender Spannung zu verwandeln. Selbstverständlich kann man an Gesammtenergie nichts gewinnen, im Gegentheile hat schon Planté gezeigt, dass das Verhältniss der bei der Entladung eines Accumulators zurückerstatteten Arbeit zur aufgewendeten elektrischen Arbeit während der Ladung ungefähr 0·88 ist; es kann nur durch den Accumulator eine andere Vertheilung der Gesammtenergie erzielt werden. Bei grösserem Potentiale wird die abfliessende Elektricitätsmenge geringer, und umgekehrt.

Laden wir z. B. durch zwei Bunsen'sche Elemente die Accumulatoren, die nebeneinander combinirt sind, also so, dass die inneren Bleiplatten miteinander und ebenso die äusseren Platten miteinander verbunden sind, so werden die gut vorbereiteten Accumulatoren bald ihre Maximalladung erreichen. Schaltet man nach der Ladung die Elemente hintereinander, so summiren sich die elektromotorischen Kräfte, d. i. die Potential-Differenzen der einzelnen Elemente, und der schwach gespannte Strom der beiden Bunsen'schen Elemente ist in einen Strom von starker Spannung verwandelt. Es können mittelst einer Secundärbatterie Resultate erzielt werden, welche mit den beiden Bunsen'schen Elementen, die zur Ladung der Batterie dienten, unerreichbar sind. Wollte man

z. B. solche Spannungseffecte erzeugen, wie sie die Secundärbatterie liefert, so müsste man viele Bunsen'sche Elemente hintereinander schalten, was abgesehen von den Erhaltungskosten vieler solcher Elemente noch die grosse Misslichkeit mit sich bringt, dass die Zusammenstellung und das Auseinandernehmen einer solchen Batterie lästig und zeitraubend ist.

In sinnreicher Weise hat Planté eine Vorrichtung

Fig. 70.



construirt, durch welche es ermöglicht wird, die Transformation niedergespannter Elektricität in hochgespannte Elektricität vorzunehmen. Die Pole aller zusammenzufügenden Accumulatoren laufen (Fig. 70) in Federn aus, welche einander gegenüberstehen. Es stehen somit alle Elektroden von den oxydirten Bleiplatten in einer Reihe und alle Elektroden der reinen Bleiplatten in einer zweiten der ersten parallelen Reihe. Ein Holzcylinder kann mittelst einer Kurbel gedreht werden; er ist auf zwei um 180° von einander abstehenden Stellen mit Metallstreifen ver-

sehen, welche der Axe des Cylinders parallel laufen, so dass, wenn diese Metallstreifen mit den beiden Reihen von Federn, welche von den Accumulatorenpolen ausgehen, in Berührung kommen, alle Elemente neben einander eingeschaltet sind.

Es ist die Stellung des Holzcylinders in diesem Falle durch Fig. 71 dargestellt. Der Commutator-Cylinder ist aber senkrecht zur Axe an ebenso vielen Stellen, als Accumulator-Elemente vorhanden sind, welche von den Metallstreifen um 90° abstehen, von Metallstäben

Fig. 71.

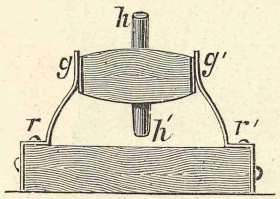
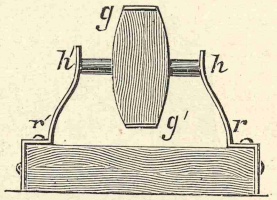


Fig. 72.



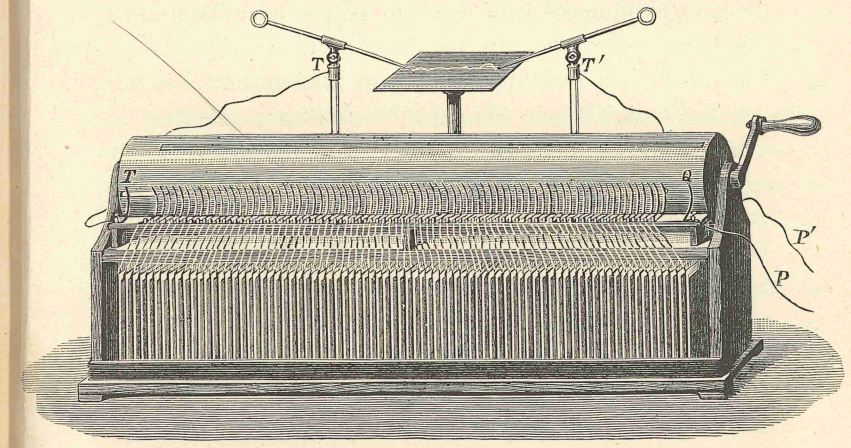
durchsetzt. Dreht man nun den Holzcylinder um 90°, so werden die Elemente hintereinander eingeschaltet; denn dann werden die ungleichnamigen Accumulatorpole durch die transversalen Stäbe in Verbindung gesetzt; die Stellung des Cylinders in diesem Falle zeigt die Figur 72.

Beim Laden der Secundärbatterie gibt man dem Cylinder die erste Stellung; sobald die Ladung der Batterie vollzogen ist, schaltet man durch eine Drehung des Commutators die Secundärelemente nach Spannung; man erhält dann eine so vielmal grössere Potential-Differenz, wie bei einem Accumulator-Elemente, als deren vorhanden sind. Wenn z. B. der primäre Strom jener von zwei Bunsen'schen Elementen war, so wird der

secundäre Strom jenem von 30 Bunsen'schen Elementen gleichkommen, wenn man 20 Accumulator-Elemente zu einer Secundärbatterie vereinigt.

Mittelst des Stromes einer Secundärbatterie konnte Planté sehr bedeutende elektrische Wirkungen in einfacher Weise hervorrufen; die von einem solchen Strome erzeugten magnetischen Wirkungen waren bedeutend

Fig. 73.



kräftiger, als jene der Primärströme. Bei Anwendung einer Secundärbatterie von 200 Elementen konnte ein 10 m langer Platindraht, der 0·3—0·4 mm im Durchmesser hatte, bis zur Rothglühhitze gebracht werden. Mit einer Secundärbatterie von 800 Elementen wurde eine Vacuumröhre von grossem Widerstande $3^1/_2$ Stunden und auch darüber erleuchtet; in der Entladung bemerkte man eine schöne Schichtung. Von anderen bemerkens-

werthen Effecten dynamischer Elektricität im Zustande hoher Spannung wird weiter unten die Rede sein.

Rheostatische Maschine.

Zur Erzielung noch grösserer Potential-Differenzen hat Planté im weiteren Verlaufe seiner Untersuchungen die rheostatische Maschine construirt. Dieselbe (Fig. 73) besteht aus einer grossen Anzahl von Condensatoren, die aus Glimmerplatten (0·18 m lang und 0·14 m breit) bestehen, welche beiderseits mit Stanniol überkleidet sind. Eine der oben beschriebenen zum Laden und Entladen der Secundärbatterie ähnliche Vorrichtung gestattet, die Condensatoren nebeneinander zu laden und hintereinander zu entladen. Bei einer Maschine von 80 Condensatoren war der Commutations-Cylinder 1 m lang und hatte einen Durchmesser von 15 cm; eine solche Maschine konnte Funken von 12 cm Länge liefern. Zur Ladung der rheostatischen Maschine bediente sich Planté einer Secundärbatterie von 600—800 Elementen. Alle Theile der Maschine müssen wegen der grossen auftretenden elektrischen Spannungen wohl von einander isolirt sein.

Aus mehrfachen Versuchen ergab sich das Resultat, dass die Funkenlänge der Anzahl der Condensatoren proportionirt ist, ferner dass die Funkenlänge schneller wächst als die Anzahl der Elemente in der ladenden Batterie; ein diesbezügliches Gesetz konnte jedoch von Planté nicht ermittelt werden. Sehr lange Entladungsfunken entstanden, wenn man dieselben durch Metall-Drehspäne gehen liess; in diesem Falle konnte man 70 cm lange Funken erzielen.

Effecte der rheostatischen Maschine.

Mehrere von Planté angestellte Versuche beziehen sich auf den Durchgang der Funken der rheostatischen Maschine durch ein Gemenge von Schwefelblumen und Mennig oder durch Schwefelblumen allein. Diese Pulver wurden auf einer isolirenden, aus Harz und Paraffin bestehenden Platte ausgebreitet. Die durch die Schwefelblumen gehenden Funken erschienen als bläuliche, feine Lichtlinien, welche, sobald sie nicht die Maximallänge erreicht hatten, seitliche geschlossene Verästelungen, Adern ähnlich, zeigten; niemals beobachtete man an denselben scharfe Winkel. Die von Planté beobachteten Erscheinungen weisen darauf hin, dass die Bewegung von Seite des positiven Poles rapider als jene vom negativen Pole ausgehende ist, was durch die grössere Spannung an diesem Pole verursacht wird.

Wenn nur spärlich Schwefelblumen sich auf der Platte befinden, so zeigt sich noch immer eine scharf ausgeprägte Lichtlinie, von welcher viele Verästelungen, insbesondere vom positiven Pole, ausgehen; Planté nennt deshalb bezeichnend diese Funken »etincelles arborescentes«. Derartige Abdrücke wurden auch an Körpern von Personen beobachtet, die vom Blitze getroffen wurden. Durch die Macht der Entladungen werden die Pulvertheilchen in die Luft geschleudert, entflammt und fallen auf den Körper, durch welchen der Entladungsschlag geht, zurück, denselben an den getroffenen Stellen verbrennend oder sengend. Wurde das Pulver von der isolirenden Platte nicht stark abgeschüttelt, so war die Funkenlinie am positiven Pole dicker als am negativen;

um den ersteren erschienen Streifen, gleichsam Fragmente der früheren Verästelungen, um den negativen Pol erschienen runde Spuren.

Mittelst der rheostatischen Maschine können auch Phänomene hervorgerufen werden, welche den Lichtenberg'schen Figuren analog sind. Zu derartigen Versuchen verwendete man das Schwefel-Menniggemisch. War die Entfernung zwischen den beiden Polen des Erregers so gross, dass nur ein Lichtbüschel in freier Luft erscheinen würde, so erstreckt sich die Bewegung der ponderablen Materie, die vom negativen Pole ausgeht, nicht zum positiven Pole. Nur um den negativen Pol zeigen sich Spuren von den am Harzkuchen anhaftenden Mennigpartikelchen. Um den positiven Pol zeigte sich die schöne Lichtenberg'sche positive Figur, welche aus Schwefelblumen gebildet war. Bei geringerer Schlagweite war die am positiven Pole auftretende Strahlenfigur gegen den negativen Pol geöffnet und es erstreckte sich die vom negativen Pole ausgehende Mennigspur in die Mitte der positiven Figur. Aus diesen Versuchen schloss Planté, dass an jedem Pole eine Mischung der beiden Elektricitäten stattfinden kann, und es ist wahrscheinlich daraus der Umstand zu erklären, dass man mit elektrischen Strömen von einer sehr hohen Spannung eine vollständige Wasserzerlegung in Sauerstoff und Wasserstoff an jedem Pole hervorrufen kann. Die vom positiven Pole ausgehende Bewegung hüllt die negative elektrische Bewegung ein. Rings um die Funkenlinie findet eine innere Strömung positiver Elektricität statt und zwischen diesem Strome und dem äusseren positiven Strome besteht eine negative Elektricitätsströmung.

Die Funken der rheostatischen Maschine waren viel gelber als die gewöhnlichen Funken, insbesondere dann, wenn man den stark gespannten Strom dieser Maschine durch eine Leydnerflasche von sehr kleiner Oberfläche schliesst. Diese Erscheinung rührt nach Planté von einer unvollständigen Entladung her, welche durch die Substanz des Glases erfolgt und welche eine Verbrennung des in dem Glase enthaltenen Natriums veranlasst.

Fig. 74.

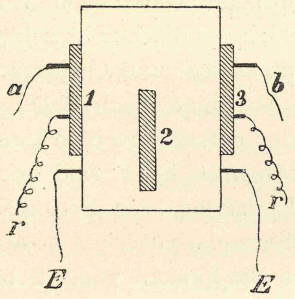
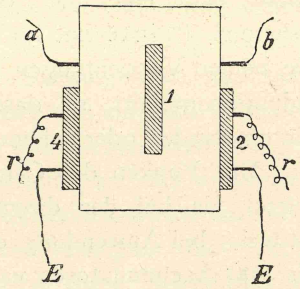


Fig. 75.



Bei Anwendung eines Ebonit-Condensators erschien der Funke roth.

Planté hat bei manchen Versuchen seine rheostatische Maschine auch nach Quantität entladen. Denken wir uns die Condensatoren der Maschine nebeneinander verbunden und auch immer so bleibend. Die ladenden Pole der Maschine sind durch die Drähte rr_1, welche in Federn enden, mit einem Commutator in Verbindung. Dieser ist in der Regel ein Ebonit-Cylinder, welcher an seinem Umfange vier Kupferstreifen, von denen in der Fig. 74 1, 2, 3, in der Fig. 75 aber 4, 1, 2 sichtbar sind, trägt. Sechs Federn schleifen an diesem Cylinder,

von denen die obersten durch die Drähte *a* und *b* mit der ladenden Secundärbatterie, die mittleren mit den Ladungspolen der rheostatischen Maschine, die untersten mit den Entladungspolen der letzteren in leitender Verbindung stehen. Ist der Commutator in der ersten Lage, so erfolgt die Ladung der Maschine, ist er in der zweiten Lage, so entladet sich die Maschine, aber nicht die Secundärbatterie, welche jetzt aus dem Stromkreise ausgeschaltet ist. Bei rascher Drehung des Commutators erhält man eine fast continuirliche Reihe von Entladungen. Planté hat an seiner rheostatischen Maschine die beiden Vorrichtungen für Intensitäts- und Quantitätsladung combinirt, so dass die Maschine nach Belieben hintereinander oder nebeneinander entladen werden kann.

Die Funken der Quantitätsmaschine sind noch kürzer als bei der directen Entladung der Secundärbatterie; bei Anwendung einer Secundärbatterie von 400 bis 800 Accumulatoren variirten die Funken von 0·2 bis 0·3 mm Länge; sie boten das Ansehen von sehr hellen Punkten, die von einer Flammenaureole umgeben sind; sie sind viel heller und lebhafter als jene der directen Entladung der Secundärbatterie. Im Allgemeinen war der Unterschied zwischen den Entladungen der Secundärbatterie mit und ohne Quantitätsmaschine ganz ähnlich jenem zwischen der Entladung einer Inductionsrolle mit und ohne eine Leydnerflasche. Die Aureole, welche sehr entwickelt ist, bildet eine Krone von 8—10 mm im Durchmesser; sie braucht nicht angeblasen zu werden, um sichtbar zu sein. Die Funken der Quantitätsmaschine sind nicht im Stande, Geissler'sche Röhren zu erleuchten; sie sind aber sehr heftig und die Wärmeeffecte sehr bedeutend. Platin- oder Stahldrähte von 10—20 dm Länge und 0·1—0·2 mm Durchmesser können rothglühend, ja sogar geschmolzen werden; die Intensitätsfunken würden in diesem Falle keine merkliche Erwärmung hervorrufen.

Besonders bemerkenswerth sind aber die mechanischen Effecte der Quantitätsfunken. Verbindet man die Maschine mit einem Voltameter, so ist der Durchgang eines jeden Funkens von einem lauten Knall, einer kleinen Explosion ähnlich, begleitet. Es kann die mechanische Wirkung so heftig sein, dass das Voltametergefäss sich verrückt, das Glas geräth in Schwingungen und beim raschen Drehen des Commutators tritt ein sehr intensiver Schalleffect ein. Bei Herstellung von solchen Verbindungen, dass die Secundärbatterie gleichzeitig auf das Voltameter mittelst eines unvollständigen Contactes wirkt, entstehen continuirliche Unterbrechungen; erfolgen die Unterbrechungen rhythmisch, so wird dieser Rhythmus im Voltameter verstärkt. Planté ist der Ansicht, dass man aus dieser Erscheinung einen Nutzen für die Telephonie ziehen könne.

Planté zeigte ferner mit den statischen Funken der Quantitätsmaschine, dass eine Flüssigkeitssäule um den positiven Pol gehoben wurde. Diese Hebungen erfolgen ruckweise und sind einander umso näher, je schneller die Funken auf einander folgen. Einen derartigen Apparat, in welchem man diese Wirkung der Quantitätsfunken zeigen kann, nennt Planté eine Voltaische Pumpe oder einen rheostatischen Widder.

Sendet man den Strom der Quantitätsmaschine durch einen Platindraht von $^1/_{20}$ mm Durchmesser und 40 cm

Länge, so nimmt man auf der ganzen Länge des Drahtes eine Reihe von spitzen Winkeln wahr, welche in fast regulären Distanzen von einander abstehen. Der ganze Draht ist in Theile getheilt, die wie Klammern von der Form ⌐¬ aussehen. Die spitzen Winkel dieser Klammern alterniren — was ihre Lage nach oben und unten betrifft — meist regulär. Bringt man die beiden Endpunkte des Drahtes einander näher, so bilden sich um die früheren Winkel neue Winkel. Setzt man die Drahtverkürzung fort, so dass die Entladungspole nur mehr die Entfernung von 10 cm haben, so bilden sich noch mehr Spitzen auf der Länge des Drahtes und der letztere bietet in seiner Gestalt die Erscheinung eines continuirlichen elektrischen Funkens dar. Neue Platindrähte sind zur Bildung dieser Knoten weniger geeignet, wie Planté beobachtet hat. Es lässt sich daraus schliessen, dass der Strom die Molecularstructur des Drahtes erschüttern muss, um das Phänomen hervorzurufen. Die Entfernung der einzelnen Knoten hängt von der Spannung des Stromes allein ab und nicht von der Rotations-Geschwindigkeit der Maschine; sie wird umso grösser, je kleiner die Potential-Differenz an den beiden Polen des Entladers ist. Bei der Entladung durch den Draht vernimmt man ein continuirliches Knistern, welches der Schallerscheinung beim Ueberspringen eines Funkens sehr ähnlich ist; dieses Knistern erfolgt aber in dem Drahte selbst und deutet auf eine in demselben erfolgende moleculare Umwälzung hin. Wahrscheinlich entstehen im Drahte während der Ladung sehr starke Contractionen und Dilatationen.

Bekanntlich hat Sir William Thomson zuerst beobachtet, dass ein Condensator im Augenblicke seiner

Ladung und Entladung einen Ton gibt; diese Erscheinung mag denselben Grund wie die von Planté in den Drähten beobachtete haben; auch da dürften in der isolirenden Substanz moleculare Contractionen und Dilatationen vor sich gehen, welche die Veranlassung zu Longitudinal-Schwingungen geben. Ausser diesen longitudinalen Erschütterungen des Drahtes erfährt derselbe noch transversale; erstere sind eine rein mechanische Wirkung des Stromes, letztere hingegen resultiren aus den abwechselnd entgegengesetzt calorischen Effecten derselben. Dass eine starke moleculare Erschütterung beim Durchgange des Stromes durch den Draht stattfindet, dafür spricht auch die Thatsache, dass, wenn der Versuch mehr als zwei Minuten dauert, der Draht von selbst zerreisst.

Planté zieht aus den letzterwähnten Versuchen beachtenswerthe Folgerungen: die molecularen Erschütterungen, welche durch den Strom der rheostatischen Maschine, welchen Planté als dynamostatischen bezeichnet, in einem Platindrahte hervorgerufen werden, entstehen auch, allerdings in einem bedeutend schwächeren Grade, in leitenden Körpern, welche von elektrischen Strömen durchflossen werden, denen eine geringere elektromotorische Kraft zukommt. Diese Vibrationen sind so schwach, dass sie sich einer directen Beobachtung entziehen, nichtsdestoweniger sind sie doch vorhanden.

»Wir glauben demnach«, sagt Planté, »daraus schliessen zu können, dass die elektrische Bewegung sich in den Körpern so fortpflanzt, wie es mit der sogenannten mechanischen Bewegung der Fall ist, nämlich durch eine Reihe sehr schnell auf einander folgender Schwingungen

der mehr oder weniger elastischen Materie, welche die Bewegung durchsetzt.«

Zu diesen bemerkenswerthen Schlüssen wurde Planté noch durch andere Versuche geleitet, welche er mittelst seiner rheostatischen Maschine ausführte. Wir können bei diesem Gegenstande, der hohes theoretisches Interesse bietet, nicht länger verweilen und verweisen den Leser auf das von Planté 1879 edirte Werk: »Recherches sur l'Electricité« (Paris, A. Fourneau).

Es sei nur erwähnt, dass einige Versuche mittelst des starken dynamostatischen Stromes Planté zur Erklärung mancher Naturerscheinungen führten. So z. B. hat Planté in seinem Laboratorium einen Versuch angestellt, der einiges Licht auf die bisher räthselhaften Kugelblitze wirft. Dieselben erscheinen als feurige, fast immer kugelförmig gestaltete Massen, die mit ziemlich geringer Geschwindigkeit sich gegen die Erde bewegen, sich längs der an derselben befindlichen Körper weiter bewegen und schliesslich unter Explosions-Erscheinungen zerplatzen. Planté tauchte den positiven Leitungsdraht seines Apparates, dessen Entladungsstrom dem von 1200 Bunsen'schen Elementen gleichkam, in destillirtes Wasser und näherte den negativen Pol einen Augenblick lang der Oberfläche des Wassers. Es zeigte sich eine gelbe kugelförmig gestaltete Flamme, deren Durchmesser ungefähr 2 cm betrug; der Platindraht, welcher 2 mm dick war, wurde geschmolzen. Um das Schmelzen zu verhüten, schaltete er in den Stromkreis eine Wassersäule ein, wodurch die Intensität des Stromes bedeutend verringert wurde. Jetzt erschien der Funke in der Form einer Feuerkugel von 10 mm Durchmesser. Die Erscheinung

hatte die grösste Aehnlichkeit mit den Kugelblitzen, und Planté sprach deshalb die Ansicht aus, dass letztere ihr Entstehen einem reichlichen Strome hochgespannter Elektricität verdanken.

Auch andere Naturerscheinungen, wie z. B. das Phänomen der Wasserhosen, sucht Planté in seinem oben angegebenen Werke zu erklären.

Der stark gespannte Strom einer Secundärbatterie oder einer rheostatischen Maschine kann auch, wie Planté gezeigt hat, dazu dienen, um Gravirungen auf Glas oder Krystallflächen auszuführen. Es gelingt dies besonders dann, wenn man die zu gravirende Fläche mit einer concentrirten Lösung von Kaliumnitrat bedeckt und in die Flüssigkeit, welche die Platte bedeckt, längs der Ränder derselben einen horizontalen Platindraht taucht, welcher mit dem einen Pole der Secundärbatterie in Verbindung steht. Die andere Elektrode, mit welcher man schreibt, besteht aus einem Platindrahte, der bis auf sein Ende mit einer isolirenden Substanz umgeben ist. Die corrodirende Kraft ist sowohl der calorischen Wirkung, als auch der chemischen Action des elektrischen Stromes in Gegenwart der Salzlösung zuzuschreiben. Die Gravirungen können mit der einen oder anderen Elektrode ausgeführt werden; doch hat sich gezeigt, dass der Strom geringer zu sein braucht, wenn man mit der negativen Elektrode gravirt, und es sind die Zeichnungen in diesem Falle auch schärfer.

Die rheostatische Maschine gehört zu den umkehrbaren Maschinen. Man kann nämlich mittelst derselben auch Elektricität hoher Spannung in Elektricität geringer Spannung, oder statische Elektricität in dyna-

mische verwandeln. Dies ist auch, wie Bichat gezeigt hat, mittelst des Ruhmkorff'schen Funkeninductors möglich. Um diese Verwandlung mittelst der rheostatischen Maschine vorzunehmen, bringt man die Spannungspole der letzteren in leitende Verbindung mit einer Elektricitätsquelle hoher Potential-Differenz, z. B. mit den Polen einer Influenzmaschine; die früher mit der Secundärbatterie verbundenen Ladungspole schaltet man in den Schliessungskreis eines Galvanometers. Zuerst stellt man den Commutator der Maschine so, dass die einzelnen Condensatoren hintereinander verbunden sind; bei Drehung des Commutators vollziehen sich die Entladungen nach Quantität und das Galvanometer zeigt einen Strom an, der allerdings wegen des grossen Widerstandes der Condensatoren nur gering ist.

Es ist in den vorhergehenden Zeilen eine Darstellung der wichtigsten und am meisten angewendeten Apparate zur Erzeugung bedeutender Mengen statischer Elektricität — sowohl was deren Einrichtung als auch Wirkungsweise betrifft — vorgenommen worden. Die Natur selbst verfügt über ungleich grossartigere, intensivere Mittel, solche Elektricität zu erzeugen; die Phänomene, welche wir in unseren physikalischen Laboratorien mittelst der im Vorigen beschriebenen Apparate hervorrufen können, liefern nur ein Miniaturbild der Erscheinungen, die im Weltall zu bestimmten Zeiten und an bestimmten Orten mit besonderer Stärke auftreten und deren Zustandekommen man der atmosphärischen Elektricität zuschreibt. Das Studium dieser Erscheinungen, das auf mannigfache Schwierigkeiten stösst, obliegt der Tochterwissenschaft der Physik, der Meteorologie.

Anhang.

Wir hatten im Vorhergehenden mehrfach Gelegenheit, auf die Spannungsverschiedenheiten der galvanischen Elektricität und jener Elektricität, wie sie etwa durch Reibungs- oder Influenzmaschinen erzeugt wird, hinzuweisen. Es dürfte für den Leser nicht ohne Interesse sein, zu erfahren, wie es möglich ist, zahlenmässig diese Unterschiede zu verfolgen, und es soll die nachstehende kurze Betrachtung genügen, um ihm wenigstens das Princip der absoluten Messung elektromotorischer Kräfte oder von Potential-Differenzen zu erläutern und einigermassen ein Bild der obwaltenden Unterschiede der Generatoren stark- und niedergespannter Elektricität zu geben.

Für die absolute Messung von Potentialunterschieden eignet sich in ganz vorzüglicher Weise das Plattenelektrometer von Thomson, von dem wir, da es an anderer Stelle dieser Bibliothek ausführlich beschrieben ist, nur bemerken, dass es im Wesentlichen aus zwei parallelen Platten, die auf verschiedene Potentiale gebracht werden, besteht. Die eine dieser Platten ist so eingerichtet, dass ein Stück von ihr, von dem kein Theil nahe an dem Rande der Platte ist, unter der Wirkung der elektrischen Kraft, welche aus der Potential-Differenz der beiden

Platten entspringt, beweglich ist. Die Theorie dieses Instrumentes lehrt, dass, wenn V die Potential-Differenz der beiden Platten, D deren Entfernung ist, ferner S der Flächeninhalt der beweglichen Platte ist, folgende Gleichung gilt:

$$V = D\sqrt{\frac{8\,\pi\,F}{S}},$$

wobei F die Anziehungskraft der beiden Platten bedeutet, die durch Gewichte, also absolut, bestimmt werden kann.

Nach dieser Formel erhielt z. B. Thomson den absoluten Werth der elektromotorischen Kraft E eines Daniell'schen Elementes:

$$E = 0{\cdot}00378,$$

wobei als Längeneinheit der Millimeter, als Gewichtseinheit das Milligramm angenommen wurde. Um die Messung leichter vornehmen zu können, brachte er die Pole einer Daniell'schen Batterie von 1000 Elementen mit den Platten des Elektrometers, die um einen Millimeter entfernt waren, in Verbindung und beobachtete eine elektrische Anziehung der Platten, welche für den Quadrat-Centimeter 5·7 Gramm betrug.

Die von Thomson auf diese Weise gefundene Zahl für die elektromotorische Kraft des Daniell'schen Elementes ist in guter Uebereinstimmung mit anderen diesbezüglichen Untersuchungen, welche von mehreren Physikern, so insbesondere Branly, angestellt wurden.

Für die Messung von sehr grossen Potentialen eignet sich das Thomson'sche absolute Elektrometer in der angegebenen Form nicht und es wurde dem letzteren von Thomson eine besondere Gestalt für diesen Zweck ertheilt. Das in der Weise construirte Elektrometer nennt Thomson »long rang electrometer« und es ist dasselbe geeignet, das Potential eines Generators hochgespannter Elektricität anzugeben, welcher im Stande ist, Funken von 30 cm Länge zu liefern.

Das Potential solcher Elektricitätsquellen kann man aber auch nach der sogenannten Schwingungsmethode bestimmen, welche im Wesentlichen im Folgenden besteht: Ein an einem Ende in eine mit Stanniol überkleidete Korkkugel ausgehendes Metallstäbchen ist an einem mit der Erde in leitender Verbindung stehenden Metalldrahte aufgehängt. In einer gewissen Entfernung wird eine Kugel von einem viel grösseren Durchmesser $2\,R$ aufgestellt, welche auf ein Potential V gebracht ist. Lässt man die bewegliche Nadel schwingen, so lange noch jede influenzirende Elektricitätsmenge ferne ist, und zählt die Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit, so findet man dieselbe n; lässt man aber die Nadel unter dem Einflusse der influenzirenden Kugel schwingen, so wird diese Schwingungszahl grösser werden und etwa N sein. Nennt man T das Trägheitsmoment der Nadel, r den Radius der mit Stanniol überdeckten Korkkugel, D die Entfernung der beiden Kugeln, l die Entfernung des Mittelpunktes der beweglichen Kugel von der Drehungsaxe des beweglichen Stäbchens, so lehrt eine leichte Rechnung, dass

$$N^2 - n^2 = \frac{l\,R^2\,r}{\pi^2\,T\,D^3}\,V^2$$

ist, woraus sich unmittelbar:

$$V = \frac{\pi\,D}{R}\sqrt{\frac{(N^2 - n^2)\,T\,D}{l\,r}}$$

für das gesuchte Potential der Kugel ergibt, und zwar in absoluten Werthen.

Von diesen Betrachtungen ausgehend, hat Professor Mascart das Potential des einen Poles einer Holtz'schen Influenzmaschine bestimmt. Der eine Pol der letzteren war mit der Erde verbunden, der andere stand einerseits mit einer Spitze in Verbindung, die in einer gewissen Entfernung von einem nicht isolirten Conductor sich befand, andererseits mit der grösseren Kugel des eben angegebenen Apparates. Durch einen dazwischengestellten Metallschirm hinderte man die directe Einwirkung der functionirenden Maschine auf den beweglichen Metallstab. Ueberschreitet das Potential des mit der grossen Kugel verbundenen Poles der Maschine einen gewissen Werth, so entweichen aus der mit diesem Pole verbundenen Spitze Lichtbüschel und es wird das Potential constant erhalten und kann nach dem Vorhergehenden gemessen werden. Um den Zusammenhang zwischen Schlagweite und Potential zu bestimmen, wird der Schwingungsapparat entfernt, der Pol der Maschine einerseits mit der Spitze, andererseits mit der einen Kugel eines Funkenmikrometers verbunden, dessen andere Kugel abgeleitet ist; man bestimmt die Funkenschlagweite für verschiedene Distanzen der Spitze von dem gegenüberstehenden nicht isolirten Leiter und erhält dann eine Beziehung zwischen derselben und dem absoluten Potentialwerthe. So fand Mascart, dass die Erzeugung eines Funkens von 1 mm zwischen zwei Mikrometerkugeln von 20 mm Durchmesser eine Potential-Differenz von 18·5 absoluten Einheiten erforderte. Zur Hervorrufung von Funken von 20 cm Länge, wie es bei der Holtz'schen

Influenzmaschine der Fall war, bedurfte es — wie aus anderen Betrachtungen hervorgeht — einer 25mal grösseren Potential-Differenz, d. h. einer Potential-Differenz von

$$18{\cdot}5 \times 25 = 462{\cdot}5$$

absoluten Potentialeinheiten. Dieselbe entspricht aber einer Anzahl Daniell'scher Elemente, welche man mit Zuhilfenahme der oben angegebenen Zahl zu

$$\frac{462{\cdot}5}{0{\cdot}00378} = 122000$$

findet. Es ist somit die elektromotorische Kraft der Holtz'schen Influenzmaschine, die zu dem erwähnten Versuche verwendet wurde, 122000mal grösser, als die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes, und wir erhalten auf diese Weise ein deutliches Bild von dem unterschiedlichen Verhalten der Generatoren hoch- und niedergespannter Elektricität.

A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustrirten Bänden, geheftet à 1 fl. 65 kr. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.
Elegant gebunden à 2 fl. 20 kr. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.

Inhalt der Sammlung.

I. Band. **Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen** und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Von Gustav Glaser-De Cew. Vierte Auflage. — II. Band. **Die elektrische Kraftübertragung** und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes. Von Eduard Japing. Zweite Auflage. — III. Band. **Das elektrische Licht.** Von Dr. A. v. Urbanitzky. Zweite Auflage. — IV. Band. **Die galvanischen Batterien, Accumulatoren und Thermosäulen.** Eine Beschreibung der hydro- und thermo-elektrischen Stromquellen, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von W. Ph. Hauck. Zweite Auflage. — V. Band. **Die Verkehrs-Telegraphie,** mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack. — VI. Band. **Telephon, Mikrophon und Radiophon,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von Theodor Schwartze. Zweite Auflage. — VII. Band. **Die Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis. Von Eduard Japing. Zweite Auflage. — VIII. Band. **Die elektrischen Mess- und Präcisions-Instrumente.** Ein Leitfaden der elektrischen Messkunde. Von A. Wilke. Zweite Auflage. — IX. Band. **Die Grundlehren der Elektricität,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck. — X. Band. **Elektrisches Formelbuch** mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, französischer und englischer Sprache. Von Prof. Dr. P. Zech. — XI. Band. **Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen,** mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung. Von Dr. A. von Urbanitzky. Zweite Auflage. — XII. Band. **Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen.** Von L. Kohlfürst. — XIII. Band. **Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-Telegraphie.** Von Dr. A. Tobler. — XIV. Band. **Die Haus- und Hôtel-Telegraphie.** Von O. Canter. — XV. Band. **Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke.** Von Dr. Fr. Wächter. — XVI. Band. **Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis.** Von J. Zacharias. — XVII. Band. **Die elektrische Eisenbahn** bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Josef Krämer. — XVIII. Band. **Die Elektro-Technik in der praktischen Heilkunde.** Von Prof. Dr. Rud. Lewandowski. — XIX. Band **Die Spannungs-Elektricität, ihre Gesetze, Wirkungen und technischen Anwendungen.** Von Prof. K. W. Zenger. — XX. Band. **Die Weltliteratur der Elektricität und des Magnetismus, 1860—1883.** Von G. May. — XXI. Band. **Die Motoren der elektrischen Maschinen** mit Bezug auf Theorie, Construction und Betrieb. Von Th. Schwartze. — XXII. Band. **Die Generatoren hochgespannter Elektricität.** Von Prof. Dr J. G. Wallentin. — XXIII. Band. **Das Potential und seine Anwendungen** bei der Erklärung elektrischer Erscheinungen. Von Dr. O. Tumlirz. — u. s. w., u. s. w.

Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen und einzeln käuflich.
Preis geheftet à 1 fl. 65 kr. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.; elegant gebunden a 2 fl. 20 kr. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop. Die Sammlung kann auch in Lieferungen à 30 Kr. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop. bezogen werden.

Einzelne Werke werden nur in der Bandausgabe ausgegeben.
Einbanddecken pro Band 40 Kr. = 75 Pf. = 1 Fr. = 45 Kop.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustrirten Bänden, geheftet à 1 fl. 65 kr. ö. W. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.; elegant gebunden à 2 fl. 20 kr. ö. W. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop. Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen u. einzeln käuflich.

Inhalt der Sammlung:

I. Band. Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Von Gustav Glaser-De Cew. Vierte Auflage. — II. Band. Die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes. Von Eduard Japing. Zweite Auflage. — III. Band. Das elektrische Licht. Von Dr. A. von Urbanitzky. Zweite Auflage. — IV. Band. Die galvanischen Batterien, Accumulatoren und Thermosäulen. Eine Beschreibung der hydro- und thermoelektrischen Stromquellen, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von W. Ph. Hauck. Zweite Auflage. — V. Band. Die Verkehrs-Telegraphie, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack. — VI. Band. Telephon, Mikrophon und Radiophon, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von Theodor Schwartze. Zweite Auflage. — VII. Band. Die Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis. Von Eduard Japing. Zweite Auflage. — VIII. Bd. Die elektrischen Mess- und Präcisions-Instrumente. Ein Leitfaden der elektrischen Messkunde. Von A. Wilke. Zweite Auflage. — IX. Band. Die Grundlehren der Elektricität, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck. — X. Band. Elektrisches Formelbuch mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, französischer und englischer Sprache. Von Prof. Dr. P. Zech. — XI. Band. Die elektrischen Beleuchtungsanlagen, mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung. Von Dr. A. von Urbanitzky. Zweite Auflage. — XII. Band. Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen. Von L. Kohlfürst. — XIII. Band. Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-Telegraphie. Von Dr. A. Tobler. — XIV. Band. Die Haus- und Hôtel-Telegraphie. Von O. Canter. — XV. Band. Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke. Von Dr. Fr. Waechter. — XVI. Band. Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis. Von J. Zacharias. — XVII. Band. Die elektrische Eisenbahn bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Josef Krämer. — XVIII. Band. Die Elektro-Technik in der praktischen Heilkunde. Von Prof. Dr. Rudolf Lewandowski. — XIX. Band. Die Spannungs-Elektricität, ihre Gesetze, Wirkungen und technischen Anwendungen. Von Prof. K. W. Zenger. — XX. Band. Die Welt-Literatur der Elektricität und des Magnetismus, 1860 bis 1883. Von Gustav May. — XXI. Band. Die Motoren der elektrischen Maschinen mit Bezug auf Theorie, Construction und Betrieb. Von Theodor Schwartze. — XXII. Band. Die Generatoren hochgespannter Elektricität. Von Prof. Dr. J. G. Wallentin. — XXIII. Band. Das Potential und seine Anwendung zu der Erklärung der elektrischen Erscheinungen. Von Dr. O. Tumlirz. — XXIV. Band. Die Unterhaltung und Reparatur der elektrischen Leitungen. Von J. Zacharias. — u. s. w. u. s. w.

Die Sammlung kann auch in Lieferungen à 30 Kr. ö. W. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop. bezogen werden.

Einzelne Werke werden nur in der Bandausgabe abgegeben.

Einbanddecken pro Band 40 Kr. ö. W. = 75 Pf. = 1 Fr. = 45 Kop.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.